A. A. Ionescu
I. Tomescu

Verificarea aparatajului primar din staţii electrice şi posturi de transformare

96

colecţia **electricianului**

editura tehnică

Ing. **Adrian Alin Ionescu** Dr. ing. **Ion Tomescu**

Verificarea aparatajului primar din staţii electrice şi posturi de transformare

96

Editura tehnică
Bucureşti, 1983

Colecţia electricianului

Ciclul **„Verificarea echipamentului electric din staţii electrice şi posturi de transformare"**

Vol. 96 : *Verificarea aparatajului primar din staţii electrice şi posturi de transformare*

Vol. 97 : *Verificarea releelor de protecţie şi automatizare din staţii electrice şi posturi de transformare*

Volumul de faţă asigură o tratare unitară, cu caracter de îndreptar, asupra probelor şi verificărilor aparatajului primar din staţii electrice şi posturi de transformare. În acest scop, sistematizînd echipamentul de verificat, punctează principalele caracteristici tehnice ale acestuia. În continuare este detaliat conţinutul probelor, pînă la nivel de algoritm procedural, insistîndu-se asupra înţelegerii manevrelor de efectuat, diagnosticării defectelor şi depistării punctelor slabe, interpretării corecte a rezultatelor. Tipurile de aparate şi echipamente descrise în lucrare sînt realizate de industria noastră sau aflate în uz curent în exploatare. Nu lipsesc atenţionări şi recapitulaţii asupra măsurilor şi precauţiilor de protecţia muncii, indispensabile pentru asigurarea unei bune desfăşurări a lucrărilor. În ansamblu, volumul contribuie la ridicarea tehnicităţii exploatării, verificării şi punerii în funcţiune a staţiilor electrice şi posturilor de transformare şi implicit la creşterea siguranţei în funcţionare a instalaţiilor energetice, respectiv la îmbunătăţirea gradului de continuitate în alimentarea cu energie a consumatorilor.

Se adresează muncitorilor, maiştrilor, tehnicienilor electricieni din staţiile şi posturile de transformare ale sistemului electroenergetic naţional.

Control ştiinţific : ing. ION NEDELCU
Redactor : ing. MIRCEA GROSU
Tehnoredactor : ELLY GORUN
Coperta colecţiei : VALENTIN VIŞAN

Bun de tipar : 24.01.1983. Coli de tipar 15
C.Z. 621.311.4.004.5

Ţ. P. „Oltenia" Craiova
Str. Mihai Viteazu, nr. 4
Republica Socialistă România
Comanda nr. 239

1. Întreruptoare de medie și înaltă tensiune Caracteristici, verificări

1.1. Generalități, caracteristici

Întreruptoarele sînt aparate electrice de comutație destinate să conecteze, să suporte și să întrerupă curenții de sarcină și de defect care apar în rețea.

Principalele caracteristici tehnice ale întreruptoarelor sînt :

a) *Tensiunea nominală* (kV). Reprezintă tensiunea de funcționare în regim nominal. Ea poate lua una din valorile : (3) ; 6 ; 10 ; (15) ; 20 ; (25) ; (30) ; (35) ; (60) ; 110 ; 220 ; 400 kV. Mărimile înscrise în paranteze se vor evita.

b) *Nivelul de izolație nominal.* Reprezintă valoarea tensiunii de ținere la impuls normalizat pozitiv și negativ și de ținere 1 minut la frecvență industrială, pe care trebuie s-o suporte izolația unui întreruptor destinat a fi utilizat într-o rețea expusă la supratensiuni de origine atmosferică.

c) *Curentul nominal* (A). Este curentul de funcționare în serviciu continuu. El poate lua una din valorile : 400 ; 630 ;

800 ; 1 250 ; 1 600 ; 2 000 ; 2 500 ; 3 150 ; 4 000 ; 5 000 ; 6 300 A.

d) *Frecvența nominală* — 50 Hz.

e) *Posibilitatea de rupere a curenților capacitivi.* Curenții capacitivi apar la deconectarea întreruptorului, dacă circuitul alimentat de el rămîne încărcat capacitiv. Este de regulă cazul liniilor și cablurilor de medie și înaltă tensiune deconectate în gol sau al bateriilor de condensatoare în derivație.

În situațiile enunțate, dacă rigiditatea dielectrică a intervalului dintre contactele întreruptorului nu se reface destul de repede, se produc reaprinderi ale arcului între contacte, fapt care poate genera supratensiuni periculoase.

f) *Capacitatea nominală de rupere a curenților de scurtcircuit.* Reprezintă curentul cel mai mare pe care întreruptorul este capabil să-l întrerupă în cazul unui scurtcircuit. Capacitatea de rupere nominală la scurtcircuit se exprimă prin două valori ale curentului de rupere, măsurate în momentul separării contactelor :

— valoarea eficace a componentei periodice ;

— valoarea procentuală a componentei aperiodice.

Componenta periodică a capacității de rupere nominală la scurtcircuit poate avea una din valorile : 6,3 ; 8 ; 10 ; 12,5; 16 ; 20 ; 25 ; 31,5 ; 40 ; 50 ; 63 ; 80 ; 100 kA.

Valoarea procentuală a componentei aperiodice se determină conform [1].

g) *Capacitatea de închidere nominală pe scurtcircuit a unui întreruptor.* Reprezintă de 2,5 ori valoarea eficace a componentei periodice a capacității sale de rupere nominale la scurtcircuit.

h) *Secvența nominală de manevră.* Reprezintă diversele posibilități de acționare ale întreruptorului în caz de defect.

Pentru întreruptoarele de construcție românească sînt în general adoptate următoarele două secvențe nominale :

I) D — 3 min — ÎD — 3 min — ÎD, pentru întreruptoarele ce urmează a nu funcționa în regim de R.A.R.

II) D — 0,3 s — ÎD — 3 min — ÎD, pentru întreruptoarele ce urmează a funcționa în regim de R.A.R.

D — reprezintă operația de deschidere.

ÎD — reprezintă operația de închidere urmată imediat de o operație de deschidere.

i) *Capacitatea de deconectare a defectului kilometric (de linie).* Reprezintă capacitatea întreruptorului de a elimina defecte pe linii care au o anumită lungime critică (de ordinul kilometrilor).

S-a observat că pe astfel de linii, viteza de creștere a tensiunii de restabilire poate să ajungă de 10—15 ori mai mare decît în mod normal, depășind uneori ca valoare situația cînd defectul are loc chiar pe bornele întreruptorului.

j) *Durata admisibilă nominală a curentului de scurtcircuit.* Reprezintă timpul în care întreruptorul fiind închis, poate suporta fără deteriorări un curent egal cu capacitatea sa de rupere nominală la scurtcircuit.

— *Durata nominală de închidere.* Este intervalul de timp dintre momentul în care mărimea ce lucrează asupra dispozitivului de acționare a întreruptorului atinge valoarea de lucru și momentul în care contactele întreruptorului se închid, stabilind circuitele la toți polii.

— *Durata nominală de deschidere.* Este intervalul de timp dintre momentul în care mărimea ce lucrează asupra dispozitivului de acționare a întreruptorului atinge valoarea de lucru și momentul în care contactele întreruptorului se separă, întrerupînd circuitele la toți polii.

— *Durata nominală de întrerupere.* Este intervalul de timp dintre momentul în care mărimea ce lucrează asupra dispozitivului de acționare a întreruptorului atinge valoarea de lucru și sfîrșitul circulației de curent la toți polii.

În fig. 1.1 este prezentată schema formării primei părți a simbolurilor întreruptoarelor de putere.

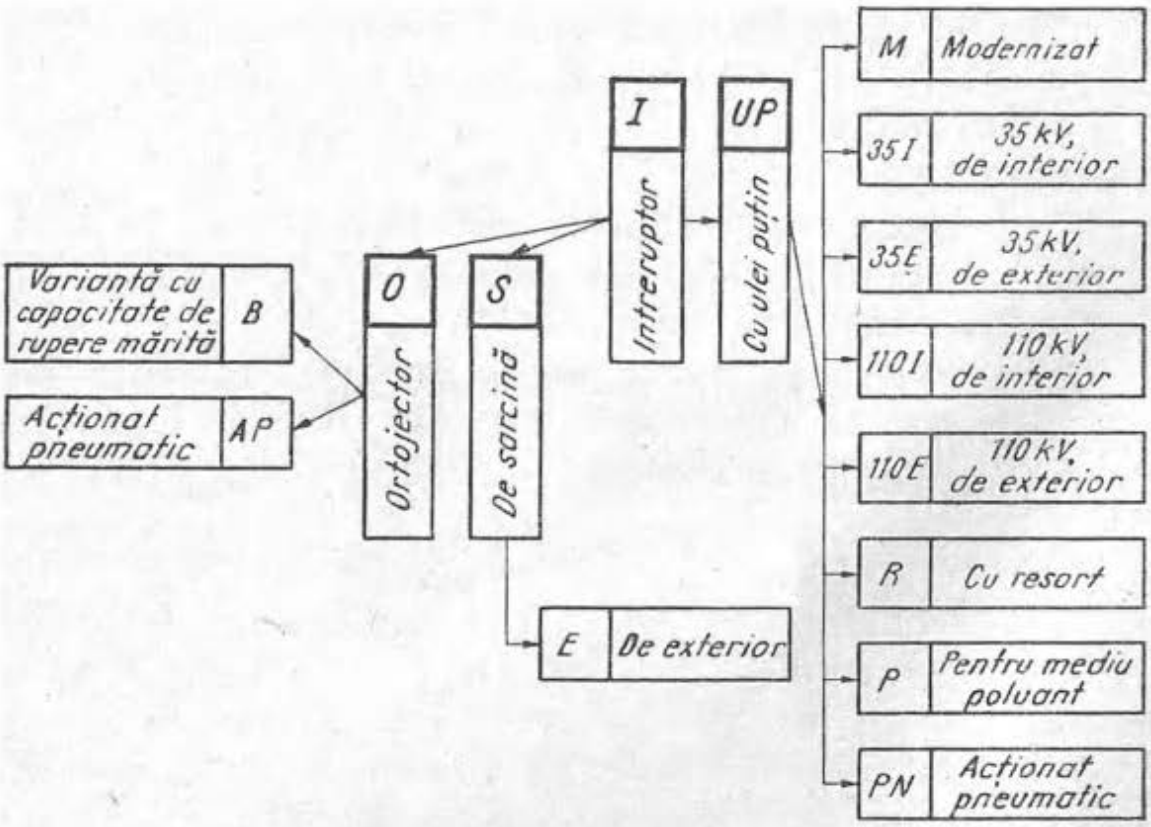


Fig. 1.1.

1.2. Dispozitive de acționare a întreruptoarelor

1.2.1. *Dispozitive de acționare a întreruptoarelor de medie tensiune*

În fig. 1.2 este prezentată schema electrică a dispozitivelor de acționare tip MRI pentru întreruptoare de medie tensiune, în care : ET_i este bobina electromagnetului de închidere ; ET_d — bobina electromagnetului de deschidere ; M — motor electric pentru armarea resorturilor ; I_m — microcontact auxiliar ; F_m — fuzibile pentru motor ; CS — dispozitiv CSA (dependent de poziția închis sau deschis a întreruptorului).

În fig. 1.2, varianta *a* corespunde schemei electrice echipate cu dispozitiv CSA-8, iar varianta *b* corespunde schemei

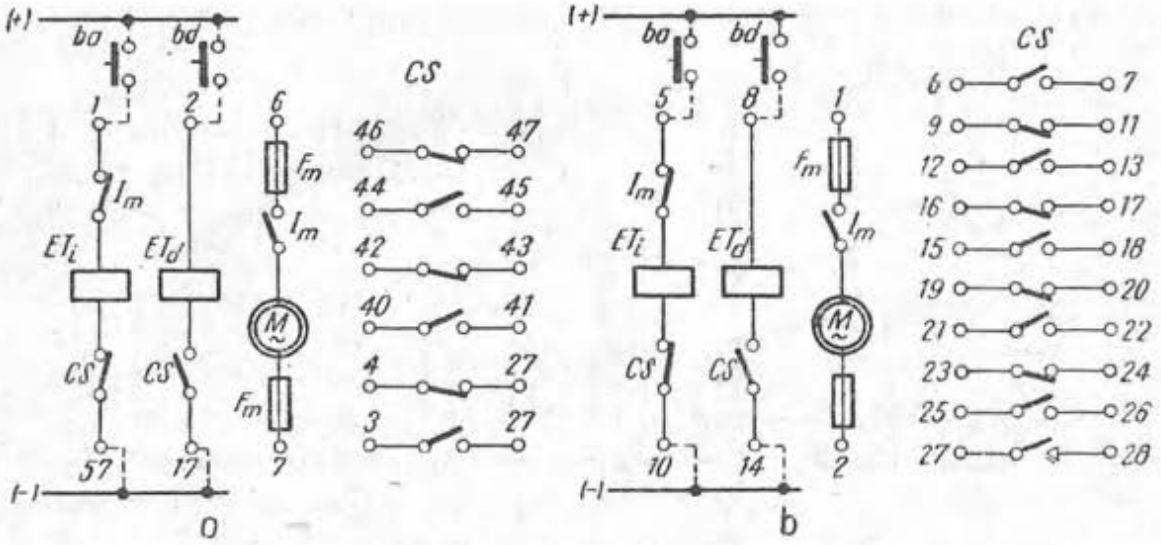


Fig. 1.2.

electrice a dispozitivului MRI modernizat, echipate cu dispozitiv CSA-12.

Ambele scheme corespund poziției deschis a întreruptorului și resorturi armate. I_m este un microcontact auxiliar dependent de starea armată sau nearmată a resorturilor.

1.2.2. *Dispozitive de acționare a întreruptoarelor IUP-110 kV*

Acționarea întreruptorului IUP — 110 kV, se poate face cu dispozitive MR-4 sau cu dispozitive pneumatice.

Schema electrică a dispozitivului cu resorturi MR-4, este prezentată în fig. 1.3.

Notația diverselor elemente este asemănătoare cu a dispozitivelor tip MRI. Mai apare în plus : Ri_1 — rezistență de încălzire a mecanismului ; R_{ci1} ; R_{ci2} — rezistențe de încălzire pentru carter.

Întreruptorul este prezentat în poziție deschis, resorturi armate.

Schema electrică a dispozitivului pneumatic de acționare a întreruptorului IUP-110 [2] este prezentată în fig. 1.4, în care : *emd* este electromagnet de deschidere ; *evi* — electromagnet de închidere ; *cbs* — contact de blocaj contra

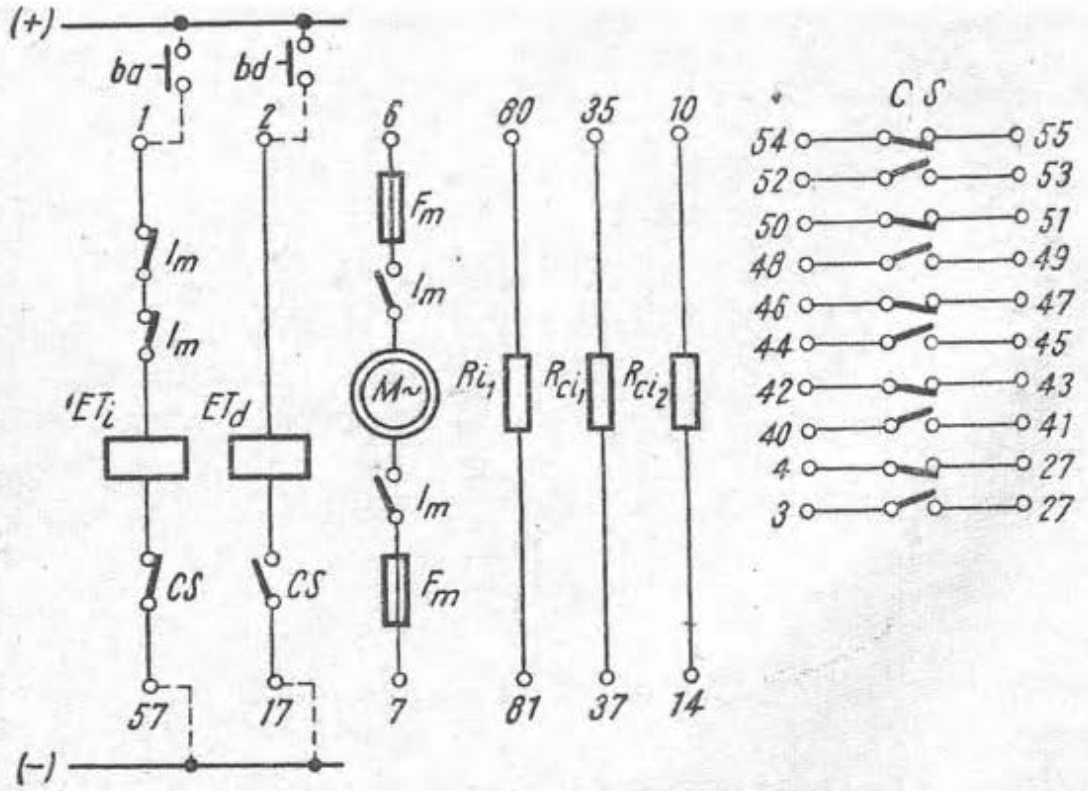


Fig. 1.3.

pompajului, dependent de poziția excitată sau dezexcitată a *emd*. În fig. 1.4, *emd* este dezexcitat ; R — rezistență de încălzire a dispozitivului de acționare ; I — contacte auxiliare dependente de poziția întreruptorului ; CS — contacte auxiliare dependente de poziția întreruptorului ce pot fi utilizate în schemele de comandă protecție, automatizare și semnalizare ; *bd*, *bi* — butoane pentru deschiderea respectiv închiderea întreruptorului (ele nu fac parte din schema electrică propriu-zisă a dispozitivului de acționare).

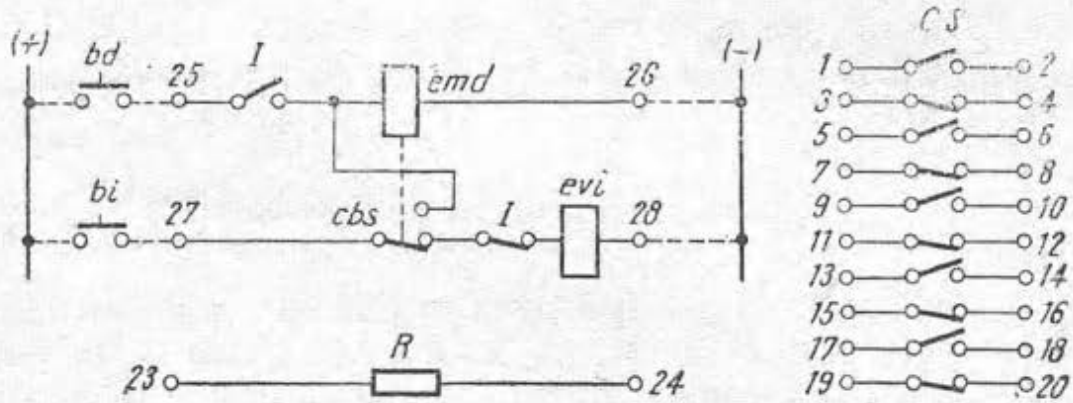


Fig. 1.4.

1.2.3. *Dispozitive de acționare a întreruptoarelor IO 110—400 kV*

Acționarea întreruptoarelor IO-110 kV se poate face monofazat sau trifazat.

În primul caz se utilizează trei dispozitive MOP-1, iar în al doilea caz, un singur dispozitiv MOP-1.

Întreruptoarele IO-220 și IO-400 kV nu pot fi acționate decît monofazat, deci se utilizează trei dispozitive MOP-1.

Schema electrică de comandă trifazată (cu un MOP-1) a întreruptorului IO-110 kV este prezentată în fig. 1.5, în care : *RIi* — releu de închidere ; *RAP* — releu de antipompaj ; *RIBd* — releu de blocaj la deschidere ; *RIBi* — releu de blocaj la închidere ; *EVi* — electrovalvă de închidere ; *EVd* — electrovalvă de deschidere ; *Bi* — buton de închidere ; *Bd* — buton de deschidere ; *CBi* — contact de blocaj la închidere ; *CBd* — contact de blocaj la deschidere ; *N* — presostat ; *C* — contact de siguranță (pentru cazul cînd presiunea este ridicată manual cu ajutorul manivelei) ; *I* — întreruptor pentru conectarea încălzirii ; *CM* — contactor cu relee termice ; *Le* — lampă pentru iluminat compartiment electric ; *Lh* — lampă pentru iluminat compartiment hidraulic ; *M* — motor ; *Ce* și *Ch* — contacte dependente de poziția ușii, pentru *Le* și *Lh* ; *R* — rezistență de încălzire 500 W —220 V ; *Rp* — rezistență de încălzire permanentă ; *Th* — termostat ; *Zi* și *Zd* — lămpi pentru semnalizarea blocajului de închidere, respectiv deschidere ; *U* — contact de punere în funcțiune a pompei ; $S_1 \ldots S_{12}$ — contacte auxiliare dependente de poziția întreruptorului.

Schema electrică de comandă monofazată (cu trei dispozitive MOP-1) a întreruptoarelor IO—110—400 kV este prezentată în fig. 1.6 (numai partea de comandă și semnalizare în curent continuu).

Denumirea elementelor din fig. 1.6, este asemănătoare cu a celor din fig. 1.5. Literele *A*, *B*, *C*, sînt utilizate pentru a indica faza *R*, *S* sau *T*, căreia aparține dispozitivul MOP-1 respectiv.

+ BC
- BC
+ BS
- BS
Comandă de închidere (+)
Comandă de închidere (-)
Comandă de deschidere
Semnalizare închidere blocaj
Semnalizare deschidere blocaj
Semnalizare defect întrerupător
Bi
RIi
RIBi1
RIi2
RIi4
RAP2
RAP4
RAP3
EVi
S2
RIi3
RAP
RAP5
S1
Bd
W
RIBd1
RIBd2
EVd
S3
N
CBi
RIBi
CBd
RIBd
RIBi2
Zi
Zd
RIBd3
RIBi3

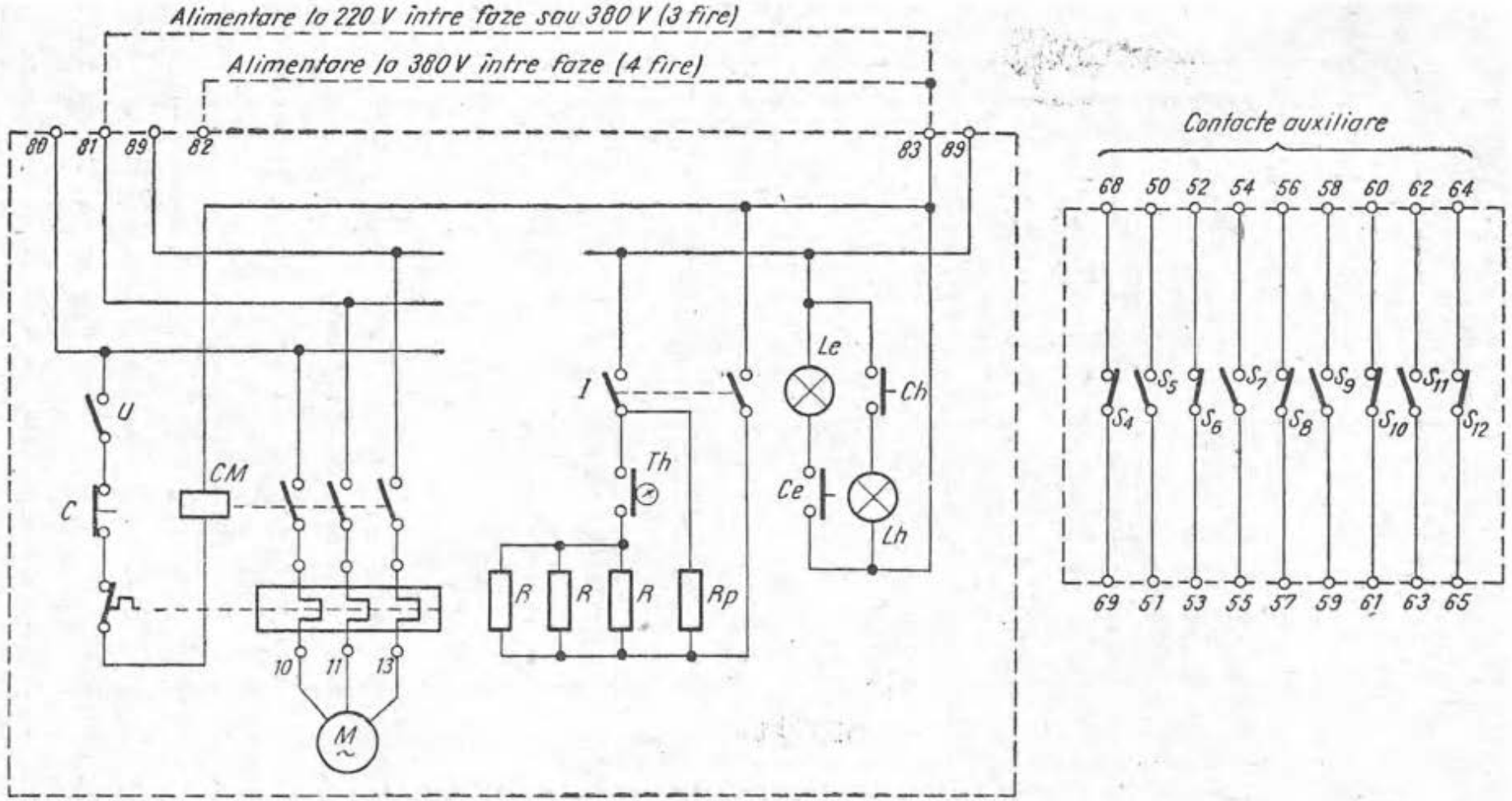
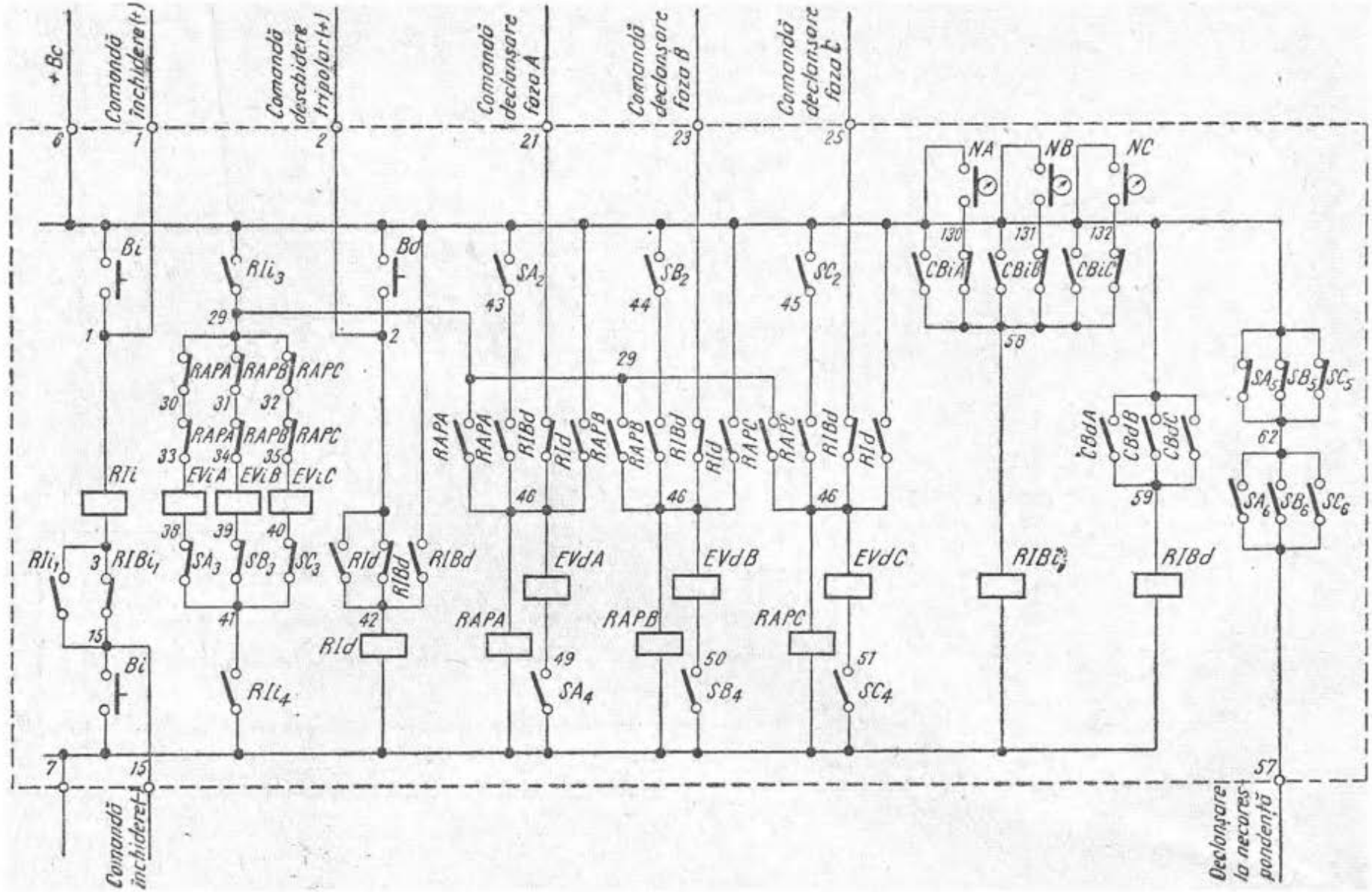

Alimentare la 220 V intre faze sau 380 V (3 fire)
Alimentare la 380 V intre faze (4 fire)
80
81
89
82
83
89
U
C
CM
10
11
13
M
I
Th
R
R
R
Rp
Le
Ch
Ce
Lh
Contacte auxiliare
68
50
52
54
56
58
60
62
64
S4
S5
S6
S7
S8
S9
S10
S11
S12
69
51
53
55
57
59
61
63
65

Fig. 1.5.


+Bc
Comandă închidere (+)
Comandă deschidere tripolar (+)
Comandă declanșare faza A
Comandă declanșare faza B
Comandă declanșare faza C
NA
NB
NC
Bi
Bo
RIi3
SA2
SB2
SC2
CBiA
CBiB
CBiC
RAPA
RAPB
RAPC
RIi
EViA
EViB
EViC
RIBd
CBdA
CBdB
CBdC
SA5
SB5
SC5
SA6
SB6
SC6
RIi1
RIBi1
SA3
SB3
SC3
RId
EVdA
EVdB
EVdC
RIBi2
RIi4
SA4
SB4
SC4
Comandă închidere (-)
Declanșare la necorespondență

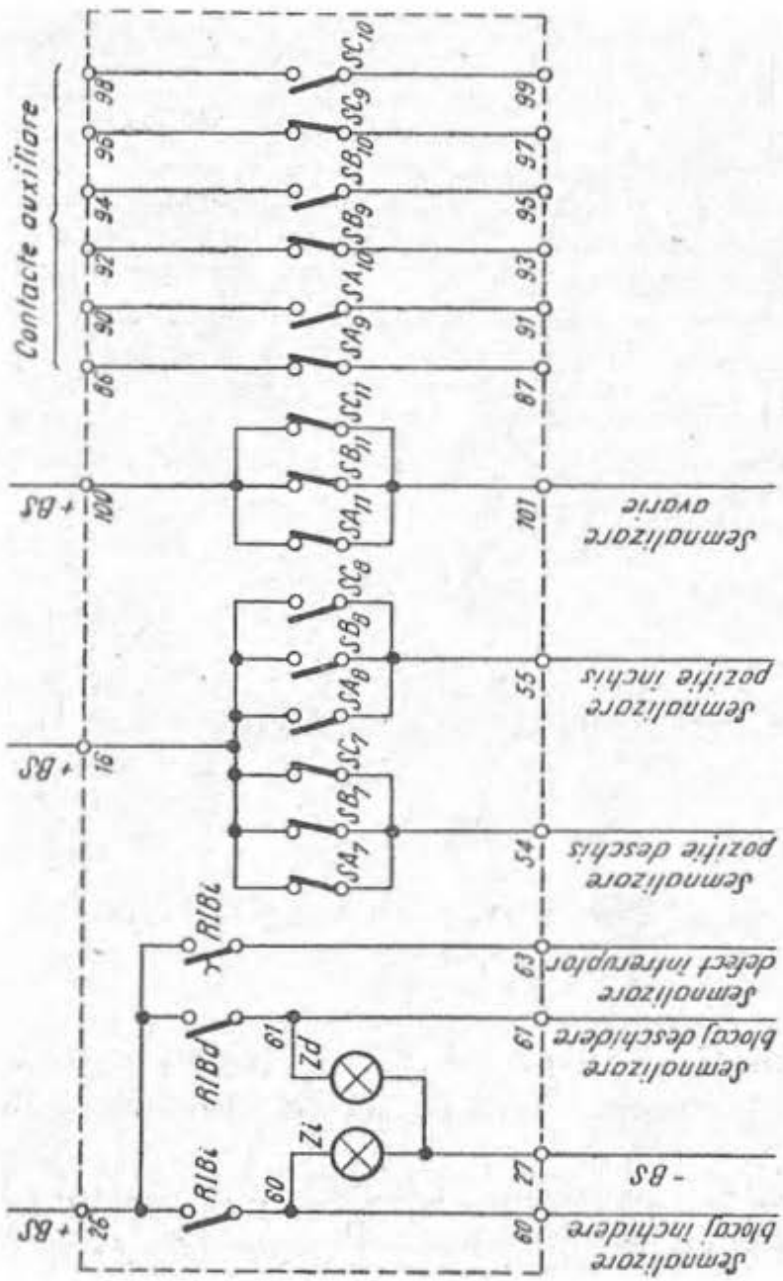

Contacte auxiliare
+BS
-BS
Semnalizare blocaj închidere
Semnalizare blocaj deschidere
Semnalizare defect întrerupător
Semnalizare poziție deschis
Semnalizare poziție închis
Semnalizare avarie
RIBi
RIBd
PZ
IZ
SA7
SB7
SC7
SA8
SB8
SC8
SA11
SB11
SC11
SA9
SA10
SB9
SB10
SC9
SC10

Fig. 1.6.

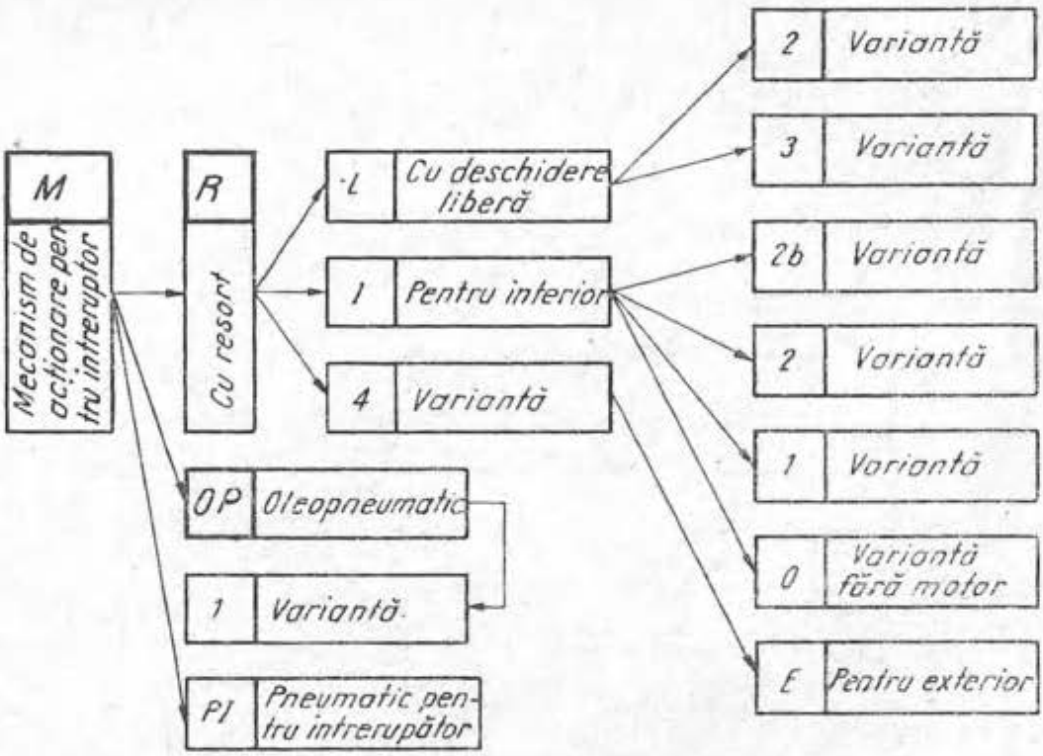


Fig. 1.7.

Schema formării primei părți a simbolurilor dispozitivelor de acționare a întreruptoarelor este dată în fig. 1.7.

1.3. Verificarea întreruptoarelor

În tabelul 1.1, sînt prezentate principalele probe la care sînt supuse întreruptoarele de putere, precum și momentul efectuării lor.

Semnificația diverselor notații din tabelul 1.1 este:

PIF — puneri în funcțiune; RC_2 — reparație curentă 2; *RT* — revizie tehnică;

* — buletinele de fabrică sînt valabile la PIF, dacă nu s-au depășit 6 luni de la emiterea lor;

** — proba este obligatorie pentru întreruptoarele cu $U_N \leqslant 35$ kV;

*** — proba se execută la RC_2, dar nu mai rar de 6 ani în stații și 3 ani în centrale.

Tabelul 1.1

Nr. curent probă	Denumirea probei	Momentul efectuării probei			
		PIF	RC_2	RT	Observaţii sau alte momente de efectuare a probei
1.3.1	Măsurarea rezistenţei de izolaţie a circuitelor principale	X*	X	X	—
1.3.2	Măsurarea curentului de fugă a coloanelor izolante	X	X	La 3 RT, dar nu mai rar de 3 ani	Numai la I0—110—400 kV
1.3.3	Încercarea izolaţiei cu tensiune alternativă mărită**	X	X***	—	—
1.3.4	Măsurarea rezistenţei de contact	X	X	X	—
1.3.5	Măsurarea timpilor de acţionare şi a nesimultaneităţii	X	X	X	—
1.3.6	Încercarea sau înlocuirea uleiului izolant	X	X	X	Se exceptează coloanele I0—110—400 kV
1.3.7	Măsurarea rezistenţelor sau capacităţilor de şuntare	X	—	La RT-rezistenţele, la 3RT—condensatoarele	—
1.3.8	Verificarea dispozitivelor de acţionare	X	X	X	—
1.3.9	Probe funcţionale la anclanşări şi declanşări repetate	X	X	La 2RT dar nu mai rar de: — 4 ani la 110 kV — 2 ani la 220—400 kV	La RC_2 proba nu se execută mai rar de 6 ani

1.3.1. *Măsurarea rezistenței de izolație a pieselor din circuitul principal de înaltă tensiune*

Proba se execută cu ajutorul unui megohmmetru de 2 500 sau 5 000 V, care are limita maximă a scalei de măsurare $\geqslant$ 10 000 MΩ. Rezistența de izolație a cordoanelor trebuie să fie mai mare decît domeniul maxim de măsurare al megohmmetrului.

Este contraindicată efectuarea probei pe timp noros, cu umezeală în atmosferă sau la temperaturi scăzute.

Înaintea începerii probei se verifică dacă în cuvele întreruptorului se găsește ulei la un nivel corespunzător, iar izolatoarele au fost curățate de praf, umezeală, murdărie etc.

Măsurările se efectuează pentru fiecare pol în parte după cum urmează :

— cu întreruptorul deschis, se măsoară rezistența de izolație între contacte (fig. 1.8, *a*) ;

— cu întreruptorul închis, se măsoară rezistența de izolație între contacte și pămînt (fig. 1.8, *b*).

Valorile minime ale rezistenței de izolație citite la un minut de la aplicarea tensiunii, trebuie să fie mai mari decît cele indicate în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2

Tensiunea nominală	Rezistența de izolație [MΩ]	
	PIF	în exploatare
3— 10 kV	1 000	300
15— 35 kV	3 000	1 000
60—110 kV	5 000	3 000
220—400 kV	10 000	5 000

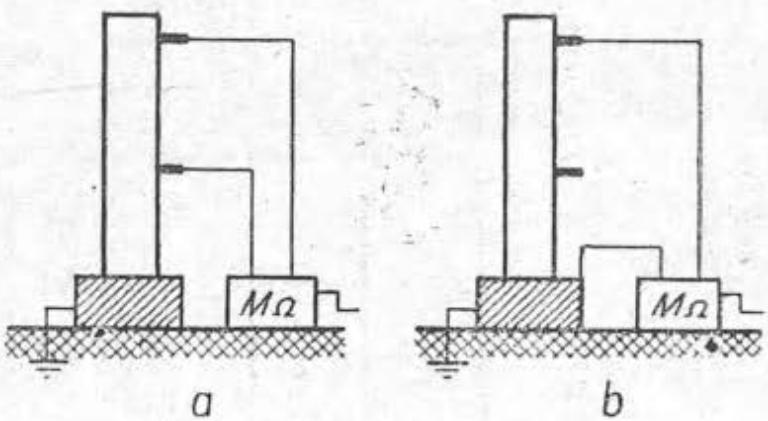


Fig. 1.8.

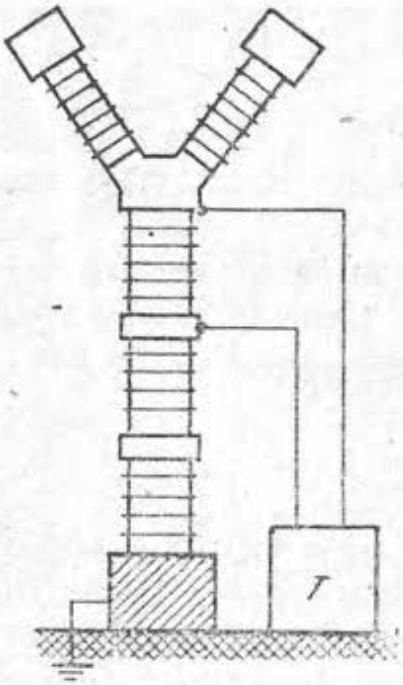


Fig. 1.9.

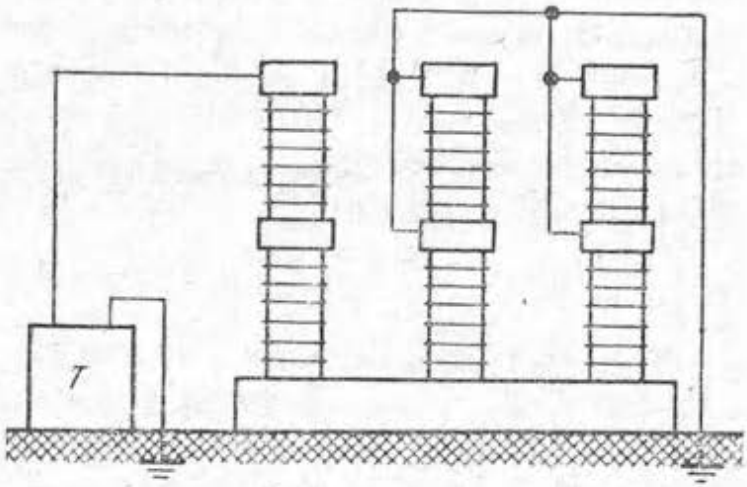


Fig. 1.10.

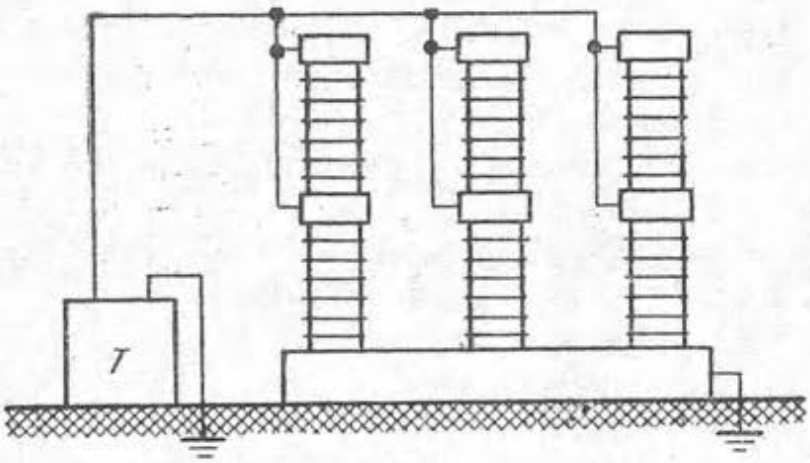


Fig. 1.11.

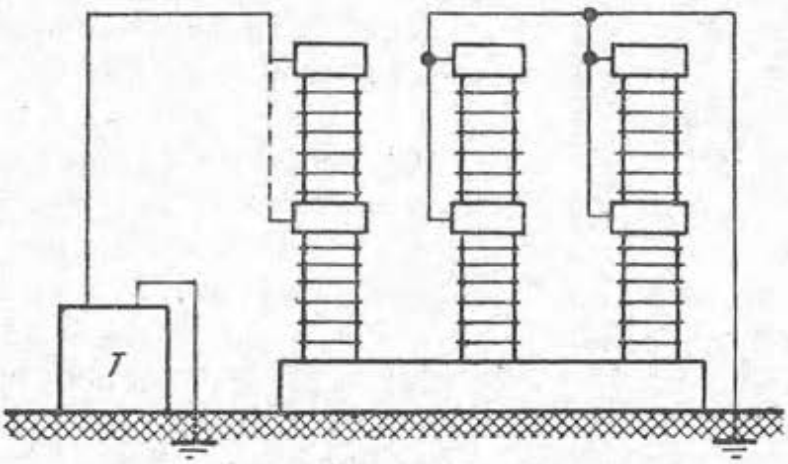


Fig. 1.12.

1.3.2. *Măsurarea curentului de fugă la coloanele izolante ale întreruptoarelor IO 110—400 kV*

Proba se execută cu ajutorul unui Kenotron sau al unei instalații de curent continuu, la valoarea de 50 kV (fig. 1.9), pentru fiecare element de coloană în parte.

Valorile curentului de fugă trebuie comparate cu cele inițiale din buletinele de fabrică sau cu cele de la PIF. Proba nu se va efectua cînd există umezeală în atmosferă sau dacă izolatoarele sînt murdare.

1.3.3. *Încercarea izolației cu tensiune alternativă mărită de frecvență industrială*

Proba se execută utilizînd o instalație de tensiune alternativă mărită de frecvență industrială. În momentul executării probei nu trebuie să existe umezeală în atmosferă, iar izolatoarele trebuie să fie curate. Conform [3] tensiunea de încercare se aplică astfel :

În poziția închis a întreruptorului, succesiv între toate părțile sub tensiune ale fiecărui pol și masă, părțile sub tensiune ale celorlalți poli fiind legate la masă (fig. 1.10, în care T reprezintă instalația de înaltă tensiune).

În poziția deschis a întreruptorului :

1) Între toate părțile sub tensiune ale tuturor polilor legate între ele și masă (fig. 1.11).

2) Succesiv între bornele fiecărui pol și masă, toate părțile sub tensiune ale celorlalți poli, fiind legate de masă (fig. 1.12). Această încercare nu se efectuează la acele întreruptoare la care izolația între poli se reduce în mod apreciabil, în poziția deschis a acestora.

3) Între bornele de pe aceeași parte reunite între ele și bornele de pe cealaltă parte reunite între ele și legate la masă. Încercările se vor repeta inversînd conexiunile (fig. 1.13).

În oricare din situațiile prezentate mai sus proba decurge astfel : se aplică mai întîi o tensiune inițială egală cu cel mult 50% din valoarea de încercare. Apoi tensiunea se ridică pînă la nivelul dorit, în mod continuu, sau în trepte de maximum 5%, într-un interval de timp de cel puțin 10 secunde și

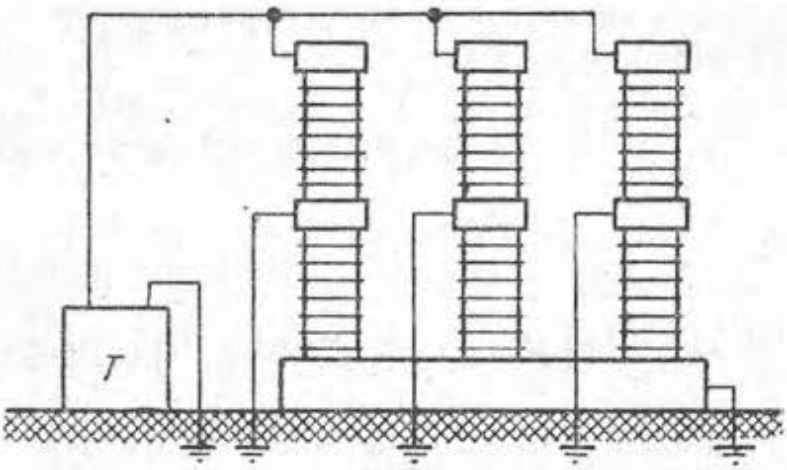


Fig. 1.13.

cel mult de 30 secunde. Durata probei, din momentul cînd tensiunea a atins valoarea de încercare, este de 1 minut.

Atît în timpul creşterii tensiunii cît şi în timpul încercării propriu-zise, nu trebuie să apară conturnări, străpungeri observabile vizual sau auditiv, zgomote anormale sau alte semne ce ar putea indica o izolaţie necorespunzătoare.

Tensiunile de încercare, conform STAS 3686/1-74, sînt indicate în tabelul 1.3, coloana 4, 5.

Tabelul 1.3

Tensiunea nominală kV	Tensiunea de ţinere la impuls normalizat, pozitiv şi negativ		Tensiunea de încercare la frecvenţă industrială	
	kV (vîrf)		kV (vîrf)	
	izolaţie plină	izolaţie redusă	izolaţie plină	izolaţie redusă
3	45	—	21(19)	—
6	60	—	27(24)	—
10	75	—	35(31)	—
15	95	—	45(40)	—
20	125	—	55(50)	—
25	160	—	65(58)	—
30	170	—	75(67)	—
35	195	—	85(76)	—
60	325	—	140(126)	—
110	550	450	230(207)	185
220	1 050	900	460(414)	395

La efectuarea probei se vor lua în considerare indicaţiile din PE 116/80, care recomandă utilizarea unor tensiuni de încercare mai reduse (circa 90% din valorile din STAS

3686/1-74). Aceste valori sînt indicate în tabelul 1.3, coloana 4, între paranteze.

Pentru întreruptoarele cu tensiuni nominale mai mari de 220 kV, încercarea izolației se efectuează conform STAS 6489-67.

1.3.4. *Măsurarea rezistenței de contact*

Proba se efectuează cu puntea dublă (dacă se dispune de un aparat suficient de sensibil) sau prin metoda ampermetrului și voltmetrului (fig. 1.14).

Măsurările se execută pentru fiecare pol în parte, întreruptorul fiind închis.

În caz că se folosește metoda ampermetrului și voltmetrului, bateria de acumulatoare E trebuie să fie capabilă să furnizeze un curent de cel puțin 100 A, care poate fi reglat cu ajutorul reostatului R. Milivoltmetrul mV trebuie să fie racordat direct la borne, prin cordoane, cît mai scurte.

Rezistența de contact se obține cu relația de mai jos, în urma citirii simultane a indicațiilor stabilizate ale celor două aparate :

$$R_{contact}\,[\Omega] = \frac{U\,[V]}{I\,[A]}$$

Valorile determinate nu trebuie să depășească cu 50% pe cele de referință.

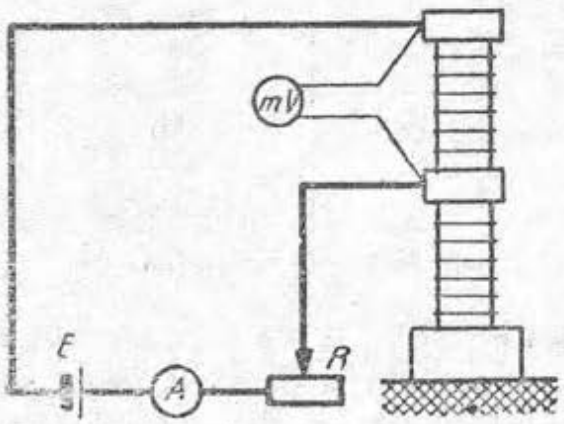


Fig. 1.14.

1.3.5. *Măsurarea timpilor de acționare și a nesimultaneității atingerii și separării contactelor fazelor diferite și a contactelor diferite ale aceleiași faze*

Pentru efectuarea măsurărilor se pot utiliza oscilografe sau secundmetre electronice de tipul „Minut", produse de ICEMENERG.

Utilizarea oscilografelor este mai puțin avantajoasă, deoarece ridică de regulă problema developării hîrtiei de înregistrare și deci necesită un timp mai lung între efectuarea măsurărilor și cunoașterea rezultatelor.

Modul de lucru cu secundmetrul electronic „Minut" este prezentat în [4].

Rezultatele măsurărilor nu trebuie să depășească pe cele de referință cu mai mult de 10%.

Conform [5] valoarea maximă admisibilă a nesimultaneității între faze nu trebuie să depășească 5 ms la deschidere și închidere, pentru întreruptoarele generatoarelor și transformatoarelor.

Pentru linii, valorile vor fi de maxim 10 ms la închidere și de maxim 5 ms la deschidere.

Între contactele înseriate ale aceleiași faze, nesimultaneitatea maxim admisă este de 5 ms la închidere și de 2 ms la deschidere.

1.3.6. *Încercarea sau înlocuirea uleiului din întreruptoare*

Probele de ulei se recoltează numai prin locurile special amenajate ale fiecărui aparat, de preferință pe timp frumos și la ore de umiditate atmosferică minimă (mijlocul zilei).

În caz că umiditatea atmosferică este ridicată (rouă, nori fără ploaie, etc.), probele de ulei pot fi luate utilizînd un furtun de cauciuc introdus pînă la fundul sticlei. În aceste situații obținerea unor rezultate necorespunzătoare vor fi considerate ca neconcludente și proba se va repeta în condiții atmosferice bune.

În situaţia cînd în atmosferă există ceaţă, vînt sau precipitaţii, nu se colectează probe şi nici nu se înlocuieşte uleiul. Nu este permisă amestecarea uleiului decît cu ulei de acelaşi tip. Probele vor fi recoltate în sticle curate şi uscate de 1 litru, cu dop rodat. Înaintea luării probei, sticla se clăteşte de 2—3 ori cu uleiul scos din aparatul respectiv.

Sticlele goale sau cu ulei, aduse pe timp friguros din exterior într-o încăpere încălzită, se pot umezi în urma condensării şi de aceea ele trebuie ţinute închise timp de 3—4 ore, pînă ajung la temperatura camerei.

În funcţie de tipul aparatului (întreruptor, transformator de putere etc.) asupra uleiului se efectuează mai multe probe, cum ar fi :

— controlul curent ;
— analiza redusă ;
— analiza completă ;
— analiza specială.

La întreruptoarele de putere, încercarea uleiului presupune numai efectuarea controlului curent, care cuprinde următoarele verificări :

— aspect ;
— cărbune în suspensie ;
— rigiditate dielectrică.

Aspectul şi cărbunele în suspensie reprezintă determinări calitative, în timp ce rigiditatea dielectrică este o determinare cantitativă.

Pentru recoltarea probelor sau înlocuirea uleiului se procedează astfel :

a) *Întreruptoare IUP 6—20 kV.*

Uleiul pentru probă se recoltează prin orificiul de golire *1* (fig. 1.15).

Rigiditatea dielectrică minimă admisă trebuie să fie :

— 80 kV/cm la punerea în funcţiune ;
— 50 kV/cm în exploatare.

Pentru înlocuirea uleiului se procedează la evacuarea acestuia prin orificiul de golire *1*, umplerea executîndu-se prin orificiul *2*, urmărindu-se în acelaşi timp indicatorul de nivel *3*.

Operaţia se execută cu întreruptorul deschis.

b) *Întreruptoare IO 10—20 kV.*

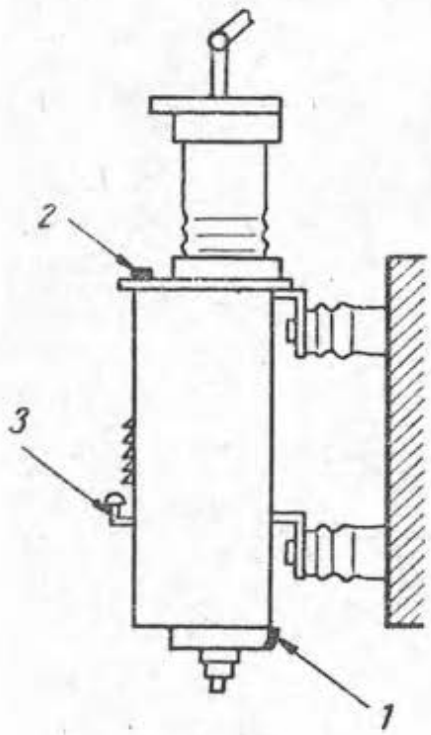


Fig. 1.15.

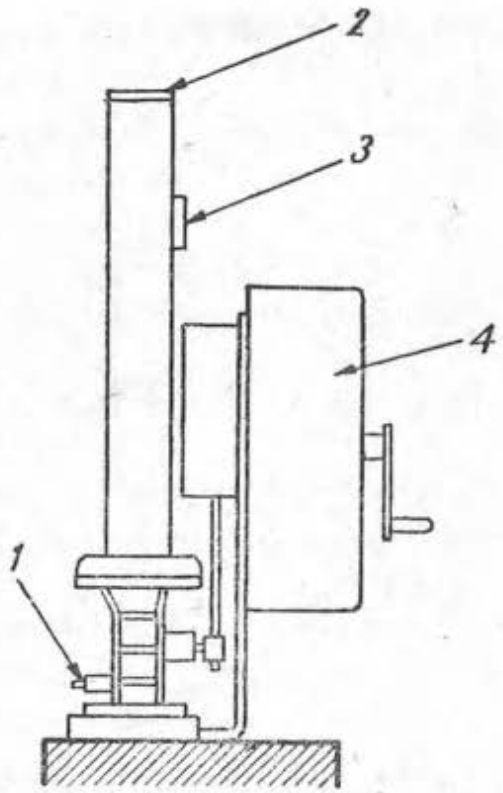


Fig. 1.16.

Uleiul pentru probe se recoltează prin orificiul de golire *1* (fig. 1.16), situat în partea inferioară a fiecărui pol.

În cazul întreruptoarelor IO-10 kV, rigiditatea dielectrică minimă admisă trebuie să fie :

— 80 kV/cm la punerea în funcțiune ;

— 50 kV/cm în exploatare.

În cazul întreruptoarelor IO-15—20 kV, rigiditatea dielectrică minimă admisă trebuie să fie :

— 100 kV/cm la punerea în funcțiune ;

— 60 kV/cm în exploatare.

Pentru umplerea întreruptoarelor cu alt ulei se utilizează orificiul de umplere *2*, situat la partea superioară a fiecărui pol. Nivelul uleiului se urmărește la indicatorul de nivel *3*, situat în partea anterioară a polului, deasupra dispozitivului de acționare. Operația se execută cu întreruptorul deschis.

c) *Întreruptoare IUP 25—35 kV.*

Recoltarea uleiului se face prin orificiul de golire *1*, pentru uleiul din camera de stingere sau prin orificiul *2*, pentru uleiul din coloana izolantă (fig. 1.17).

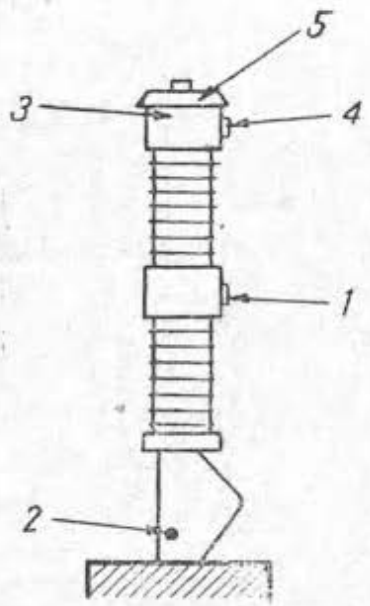


Fig. 1.17.

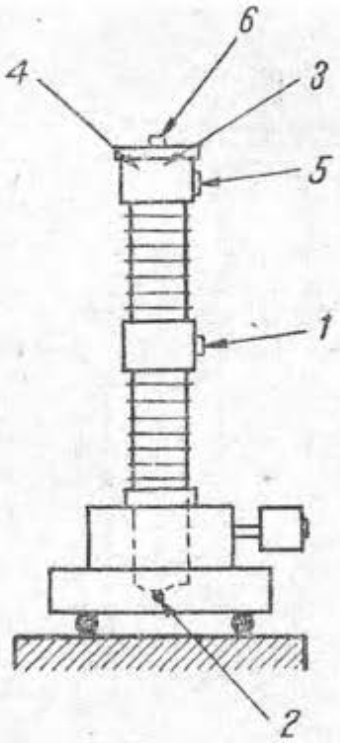


Fig. 1.18.

Rigiditatea dielectrică minimă admisă trebuie să fie pentru camerele de stingere :

— 100 kV/cm la punerea în funcțiune ;

— 60 kV/cm în exploatare.

Pentru izolatoarele suport, rigiditatea dielectrică minimă trebuie să fie :

— 100 kV/cm la punerea în funcțiune ;

— 80 kV/cm în exploatare.

Golirea uleiului se face prin orificiul *1*, pentru camerele de stingere și prin orificiul *2*, pentru coloanele izolante.

Umplerea cu ulei se face prin orificiul de umplere *3* situat sub capacul superior *5*, urmărindu-se totodată și indicatorul de nivel *4*.

Operația se execută cu întreruptorul deschis.

d) *Întreruptoare IUP-110 kV.*

Recoltarea uleiului din camera de stingere se face prin orificiul de golire *1* (fig. 1.18).

Luarea probelor de ulei din coloana izolantă se face prin orificiul *2* situat sub întreruptor, cînd acesta este

acționat pneumatic (fig. 1.18) sau prin orificiul *2* din fig. 1.17, cînd întreruptorul este acționat cu dispozitiv MR-4.

Rigiditatea dielectrică minimă admisibilă trebuie să fie pentru camerele de stingere :

— 130 kV/cm la punerea în funcțiune ;

— 80 kV/cm în exploatare.

Pentru coloanele izolante rigiditatea dielectrică minimă admisibilă trebuie să fie :

— 130 kV/cm la punerea în funcțiune ;

— 110 kV/cm în exploatare.

La golire trebuie să se evacueze mai întîi uleiul din camera de stingere prin orificiul *1* și apoi din coloana izolantă prin orificiul *2*. Golirea uleiului în această ordine este necesară pentru ca uleiul din camera de stingere, care poate conține particule carbonizate în suspensie ca urmare a declanșărilor pe scurtcircuit, să nu ajungă în coloana izolantă.

După golirea uleiului din coloană este absolut interzisă manevrarea întreruptorului, deoarece acesta poate conduce la grave defecte mecanice.

Umplerea cu ulei se face în poziția deschis a întreruptorului, după ce s-a îndepărtat capacul superior *6*. Prin orificiul *3* (fig. 1.18) se umple mai întîi camera de stingere, apoi prin orificiul *4*, camera izolantă. Cele două spații comunică între ele prin intermediul supapei de echilibrare. Nivelul uleiului din cele două spații poate fi urmărit la indicatorul de nivel *5*.

Umplerea cu ulei se mai poate face și cu ajutorul unei pompe racordate la orificiile *1* și *2*.

e) *Întreruptoare IO 110—400 kV.*

Probele de ulei se recoltează din :

— camerele de stingere ;

— camerele exterioare camerelor de stingere ;

— circuitele de comandă ;

— izolatoarele suport.

Obținerea uleiului din fiecare cameră de stingere elementară se face prin intermediul robinetului *1*, (fig. 1.19).

Cu ajutorul unei chei S-14, se execută 4—5 rotații asupra robinetului camerei de stingere, pînă cînd uleiul începe să

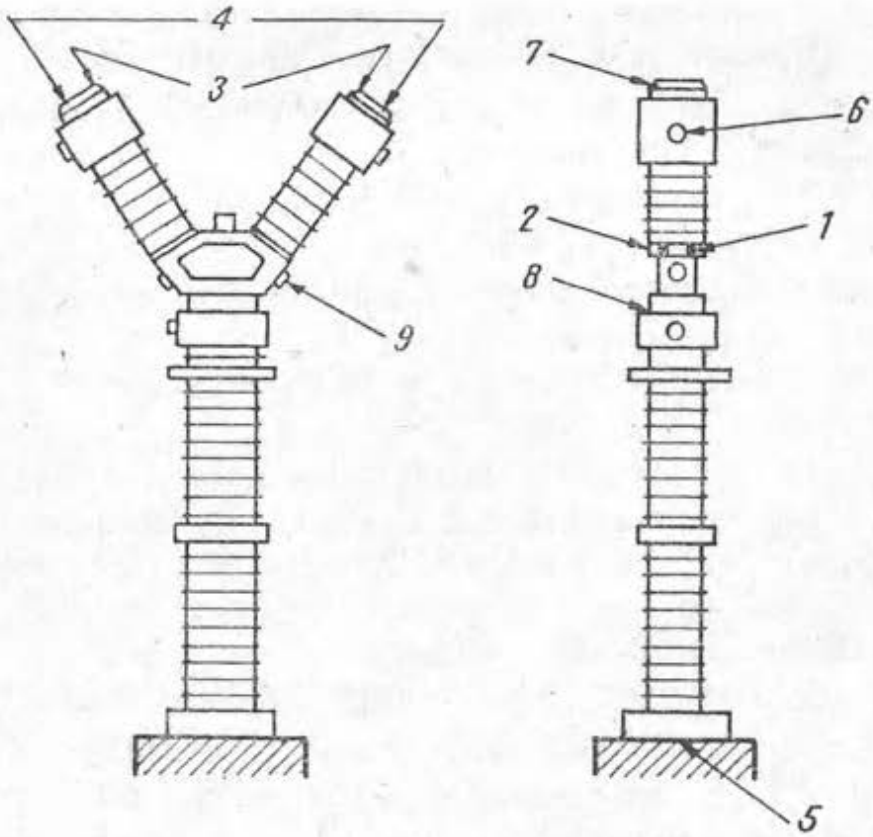


Fig. 1.19.

curgă în sticla destinată luării probei. Nu se recomandă desfacerea completă a robinetului, pentru a nu se pierde bila de reținere a acestuia.

Obținerea probelor din camerele exterioare camerelor de stingere se face în același mod, utilizînd robinetul *2*.

Recoltarea uleiului din dispozitivul de acționare MOP se face prin locul special amenajat în acest scop în dispozitiv.

Recoltarea uleiului din coloana izolantă se face prin orificiul *5* numai în situații cu totul speciale, cînd se constată că rezistența de izolație a coloanei este necorespunzătoare. Aceasta deoarece coloana izolantă este umplută cu ulei sub vid în uzina constructoare, fapt pentru care, după recoltarea probei, este necesară reetanșarea coloanei.

Rigiditatea dielectrică a uleiului trebuie să fie mai mare decît următoarele valori minime :

— uleiul din camerele de stingere :

— 130 kV/cm la punerea în funcțiune ;

— 60 kV/cm în exploatare.

— uleiul din camerele exterioare camerelor de stingere :
  — 130 kV/cm la punerea în funcțiune ;
  — 100 kV/cm în exploatare.
— uleiul din coloanele izolante :
  — 200 kV/cm la punerea în funcțiune ;
  — 200 kV/cm în exploatare.
— uleiul din circuitele de comandă :
  — 120 kV/cm la punerea în funcțiune ;
  — 100 kV/cm în exploatare—proba se execută anual.

La uleiul din circuitele de comandă, este necesar ca odată la 2 ani să se execute măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice. Proba se efectuează la 70°C, trebuind să se obțină pentru tg δ următoarele valori minime :

— 0,04 la punerea în funcțiune ;
— 0,12 în exploatare.

Golirea camerelor de stingere și a camerelor izolante exterioare camerelor de stingere se face prin intermediul robinetelor *1* și *2* și al orificiilor alăturate lor.

Umplerea cu ulei se face pentru camerele de stingere prin orificiile *3*, iar pentru camerele izolante, prin orificiile *4*, situate sub capacele *7*. Această operație se efectuează cu întreruptorul deschis. Uleiul se urmărește la indicatorul de nivel *6* (fig. 1.19), nivelul necesar stabilindu-se în funcție de temperatura mediului ambiant.

În cazul că se dispune de o pompă, uleiul se poate injecta și prin robinetele de golire *1* și *2*.

Golirea uleiului din coloana izolantă se face prin robinetul de golire *5*, după ce în prealabil a fost desfăcut capacul orificiului de umplere *8*, situat în partea superioară a coloanei izolante.

Umplerea coloanei izolante cu ulei se face cu ajutorul unui furtun racordat la robinetul de golire. Se introduce ulei în coloana izolantă, pînă cînd acesta ajunge la nivelul orificiului de umplere *8*, moment în care se montează capacul orificiului de umplere. Se golește apoi coloana izolantă prin robinetul de golire *5*, pînă la nivelul corespunzător temperaturii mediului ambiant de pe vizorul *9*, după care robinetul de golire se închide.

1.3.7. *Măsurarea rezistențelor și capacităților de șuntare ale camerelor de stingere*

Rezistențele de șuntare ale camerelor de stingere sînt rezistențe liniare sau neliniare conectate în derivație cu camerele de stingere ale întreruptoarelor. Ele sînt utilizate pentru a ușura funcționarea întreruptoarelor în procesul de deschidere a diferitelor circuite de înaltă tensiune, cu și fără arc electric, prin :

— limitarea valorii și a vitezei de restabilire a tensiunii pe contacte ;

— limitarea valorii curentului de scurtcircuit ;

— înlăturarea totală sau parțială a posibilităților de apariție a reaprinderilor arcului și a supratensiunilor periculoase la deschiderea unor curenți capacitivi mari sau a unor curenți inductivi mici, care apar la deconectarea transformatoarelor de putere în gol ;

— egalizarea tensiunii pe camerele de rupere ale întreruptorului.

Condensatoarele de șuntare sînt destinate îmbunătățirii repartiției tensiunii de restabilire pe camerele de stingere înseriate. Ele sînt de construcție etanșă, incluzînd capacități elementare înseriate, din folie de aluminiu și hîrtie în ulei. Un burduf de cauciuc preia dilatările uleiului.

Proba se execută cu întreruptorul deschis sau cu rezistențele și condensatoarele demontate.

La rezistențe, se verifică numai continuitatea lor.

La condensatoare, se măsoară capacitatea cu ajutorul unor punți. Valorile obținute nu trebuie să difere cu mai mult de 5% față de valorile de referință.

1.3.8. *Verificarea dispozitivelor de acționare a întreruptoarelor*

1.3.8.1. **Măsurarea rezistenței de izolație a circuitelor secundare aferente dispozitivelor de acționare.** Proba se execută cu ajutorul megohmmetrului de 1 000 V. Se verifică rezistența de izolație între fiecare circuit și masă, precum și între diversele circuite neconectate galvanic.

Valorile minime ale rezistenței de izolație trebuie să fie de 5 MΩ la punerea în funcțiune și de 1 MΩ în exploatare.

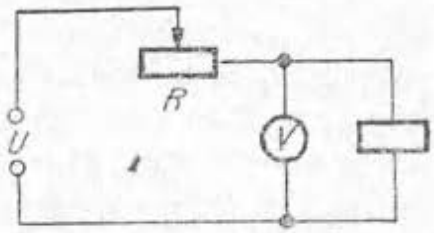


Fig. 1.20.

1.3.8.2. **Încercarea cu tensiune mărită a izolației circuitelor secundare aferente dispozitivelor de acționare.** Proba se execută cu ajutorul unei truse de tensiune alternativă de 2 kV sau cu megohmmetrul de 2 500 V, timp de un minut.

În timpul probei nu trebuie să apară străpungeri prin piesele izolante și prin aer, efluvii, conturnări etc.

1.3.8.3. **Măsurarea rezistenței ohmice a bobinelor sau electrovalvelor de acționare.** Pentru efectuarea măsurărilor se utilizează o punte de rezistențe ohmice.

1.3.8.4. **Verificarea releelor incluse în dispozitivul de acționare.** Proba se execută pentru fiecare releu în parte, conform celor indicate în [90].

1.3.8.5. **Măsurarea tensiunilor minime de acționare ale bobinelor sau electrovalvelor de închidere și deschidere.** Proba se execută utilizînd montajul din fig. 1.20, în care U reprezintă sursa de curent operativ, iar R este un reostat.

Prin manevrarea cursorului reostatului R, se crește treptat tensiunea la bornele bobinei de acționare pînă cînd aceasta lucrează sigur, efectuînd comanda de închidere sau deschidere a întreruptorului. Tensiunea citită în acel moment la voltmetrul V reprezintă valoarea tensiunii minime de acționare.

Pentru bobina sau electrovalva de închidere, această valoare trebuie să fie de aproximativ 0,85 U_N, iar pentru bobina sau electrovalva de deschidere, de aproximativ 0,7 U_N. Prin U_N s-a notat tensiunea nominală de lucru a bobinei respective.

1.3.9. *Probe funcționale ale întreruptoarelor la anclanșări și declanșări repetate*

Se execută cicluri repetate de acționări, închideri și deschideri, în felul următor:

— 5 acționări la tensiune și/sau presiune minimă;

— 5 acţionări la tensiune şi/sau presiune nominală;
— 5 acţionări la tensiune şi/sau presiune maximă.

În timpul probelor nu trebuie să apară nici un fel de defecţiuni şi nici să mai fie necesară efectuarea unor reglaje suplimentare care să înlesnească corecta funcţionare a întreruptorului sau a mecanismului său de acţionare.

La întreruptoarele acţionate cu dispozitive MRI sau MR-4, proba se va efectua numai la tensiunea minimă, nominală şi maximă.

Valorile minime şi maxime de acţionare, raportate la valorile nominale ale diferitelor elemente, sînt date în tabelul 1.4.

Tabelul 1.4

Tipul elementului acţionat	Valori minime de acţionare	Valori maxime de acţionare
Bobine (electrovalve) de închidere	85% U_N	110% U_N
Bobine (electrovalve) de deschidere	70% U_N	100% U_N
Motoare de acţionare	85% U_N	110% U_N
Elemente pneumatice	85% P_N	110% P_N

2. Separatoare
Caracteristici, verificări

2.1. Generalități, caracteristici

Separatoarele sînt aparate care în poziția deschis asigură o întrerupere vizibilă a circuitelor electrice în care sînt conectate. Ele nu pot fi acționate sub sarcină.

Principalele caracteristici tehnice ale separatoarelor sînt :

a) *Tensiunea nominală* [kV]. Reprezintă tensiunea de funcționare în regim nominal.

b) *Curentul nominal* [A]. Este curentul de funcționare în serviciu continuu.

c) *Valoarea efectivă a curentului limită termic* [kA]. Reprezintă valoarea maximă a curentului de defect ce poate trece prin separator timp de o secundă, fără ca să depășească limita de încălzire admisibilă.

d) *Valoarea de vîrf a curentului limită dinamic* [kAmax.]. Reprezintă valoarea de vîrf a primei alternanțe a curentului de scurtcircuit pe care separatorul îl suportă din punct de vedere dinamic.

În fig. 2.1 este prezentată schema formării primei părți a simbolurilor separatoarelor.

2.2. Dispozitive de acționare a separatoarelor

Dispozitivele de acționare a separatoarelor de fabricație românească pot fi :

— cu acționare manuală, de tip interior AMI sau de tip exterior AME ;

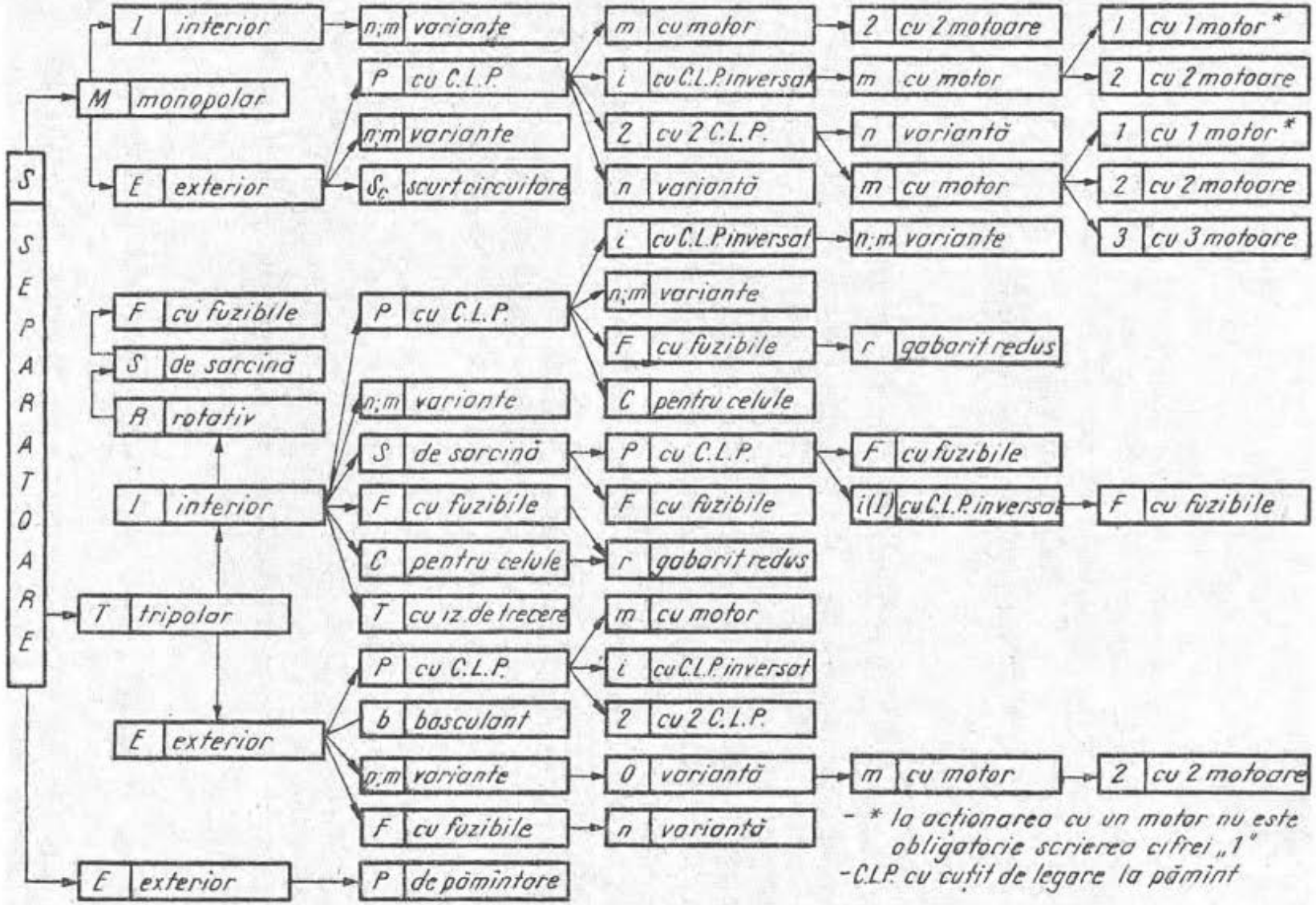

S SEPARATOARE
M monopolar
I interior
n;m variante
m cu motor
2 cu 2 motoare
1 cu 1 motor *
i cu C.L.P. inversat
m cu motor
2 cu 2 motoare
P cu C.L.P.
2 cu 2 C.L.P.
n variantă
1 cu 1 motor *
m cu motor
2 cu 2 motoare
E exterior
n;m variante
Sc scurtcircuitare
n variantă
i cu C.L.P. inversat
n;m variante
3 cu 3 motoare
F cu fuzibile
S de sarcină
R rotativ
P cu C.L.P.
n;m variante
F cu fuzibile
r gabarit redus
C pentru celule
I interior
S de sarcină
P cu C.L.P.
F cu fuzibile
F cu fuzibile
F cu fuzibile
i(I) cu C.L.P. inversat
F cu fuzibile
C pentru celule
r gabarit redus
T tripolar
T cu iz. de trecere
m cu motor
P cu C.L.P.
i cu C.L.P. inversat
2 cu 2 C.L.P.
E exterior
b basculant
n;m variante
0 variantă
m cu motor
2 cu 2 motoare
F cu fuzibile
n variantă
E exterior
P de pământare
- * la acționarea cu un motor nu este obligatorie scrierea cifrei „1"
-C.L.P. cu cuțit de legare la pământ

Fig. 2.1.

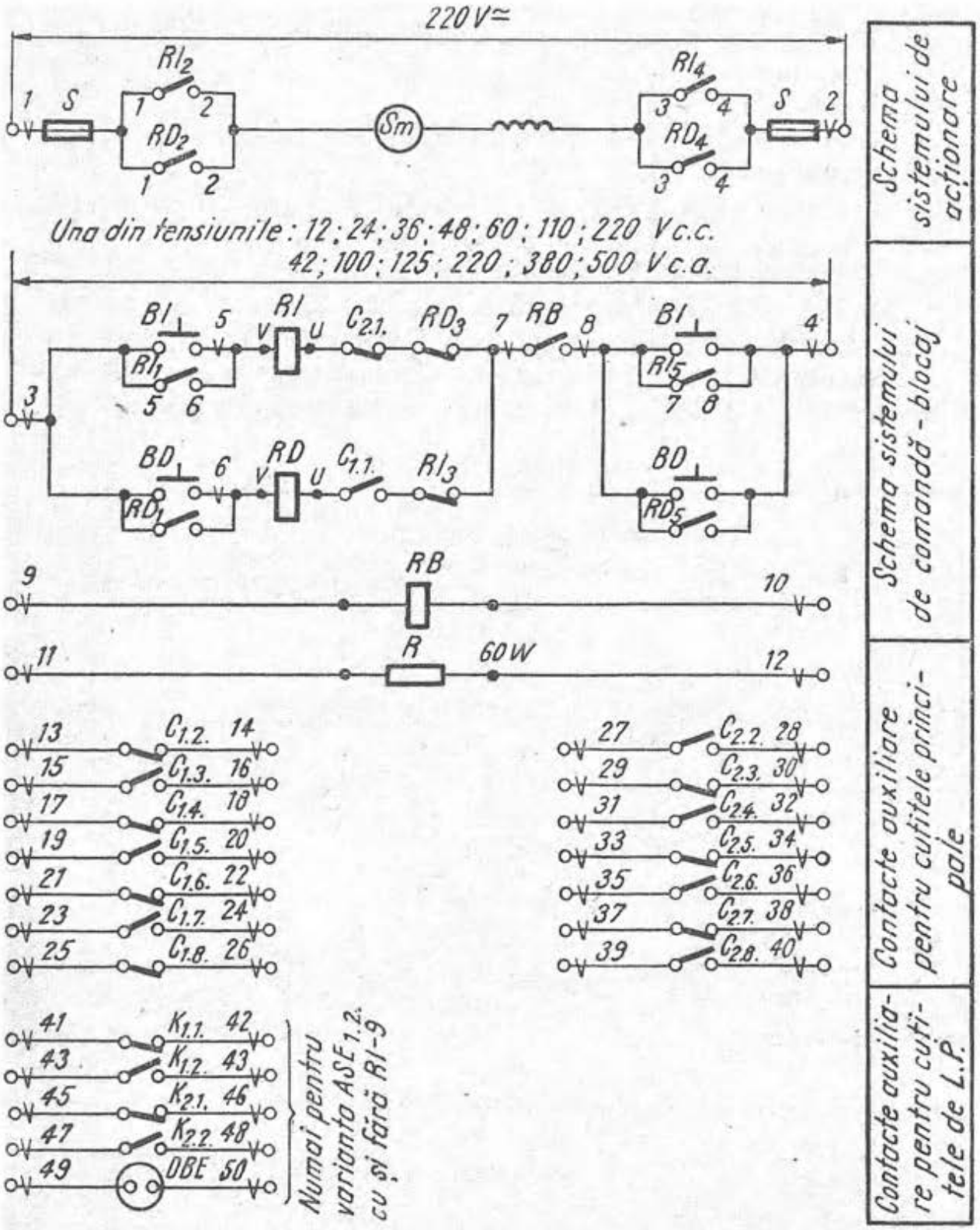

220 V≃
Una din tensiunile : 12; 24; 36; 48; 60; 110; 220 V c.c.
42; 100; 125; 220; 380; 500 V c.a.
Numai pentru varianta ASE 1.2. cu și fără RI-9
Schema sistemului de acționare
Schema sistemului de comandă - blocaj
Contacte auxiliare pentru cutitele principale
Contacte auxiliare pentru cuțitele de L.P.

Fig. 2.2.

— cu arc, de tip AC, la care destinderea bruscă a arcurilor comprimate în prealabil asigură o deschidere și o închidere mai rapidă a cuțitelor separatoarelor (aceste dispozitive sînt utilizate de regulă la separatoarele de sarcină tip S.T.I.S.).

— cu acționare pneumatică, tip AP, ce se execută în variantele :

— AP-2 și AP-3, pentru închiderea și deschiderea separatoarelor de interior.

— AP-4 și AP-5, pentru acționarea separatoarelor de exterior ;

— cu servomotor electric, tip ASE.

În fig. 2.2 este prezentată schema electrică a dispozitivului ASE echipat cu motor tip DRI universal.

În fig. 2.3 este prezentată schema electrică a dispozitivelor ASE.2.1 și ASE.2.2, echipate cu electromotor de 48 Vcc.

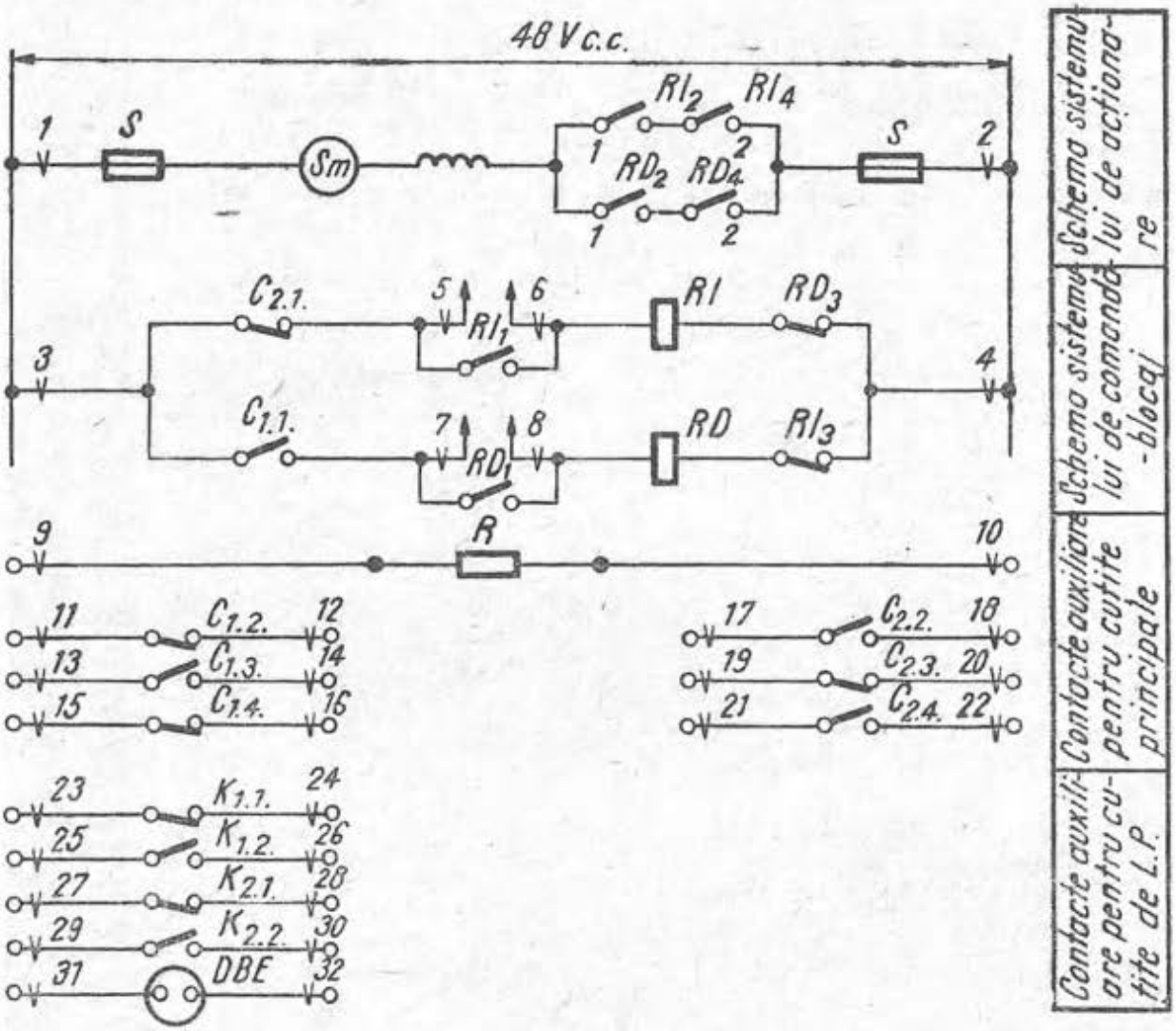


Fig. 2.3.

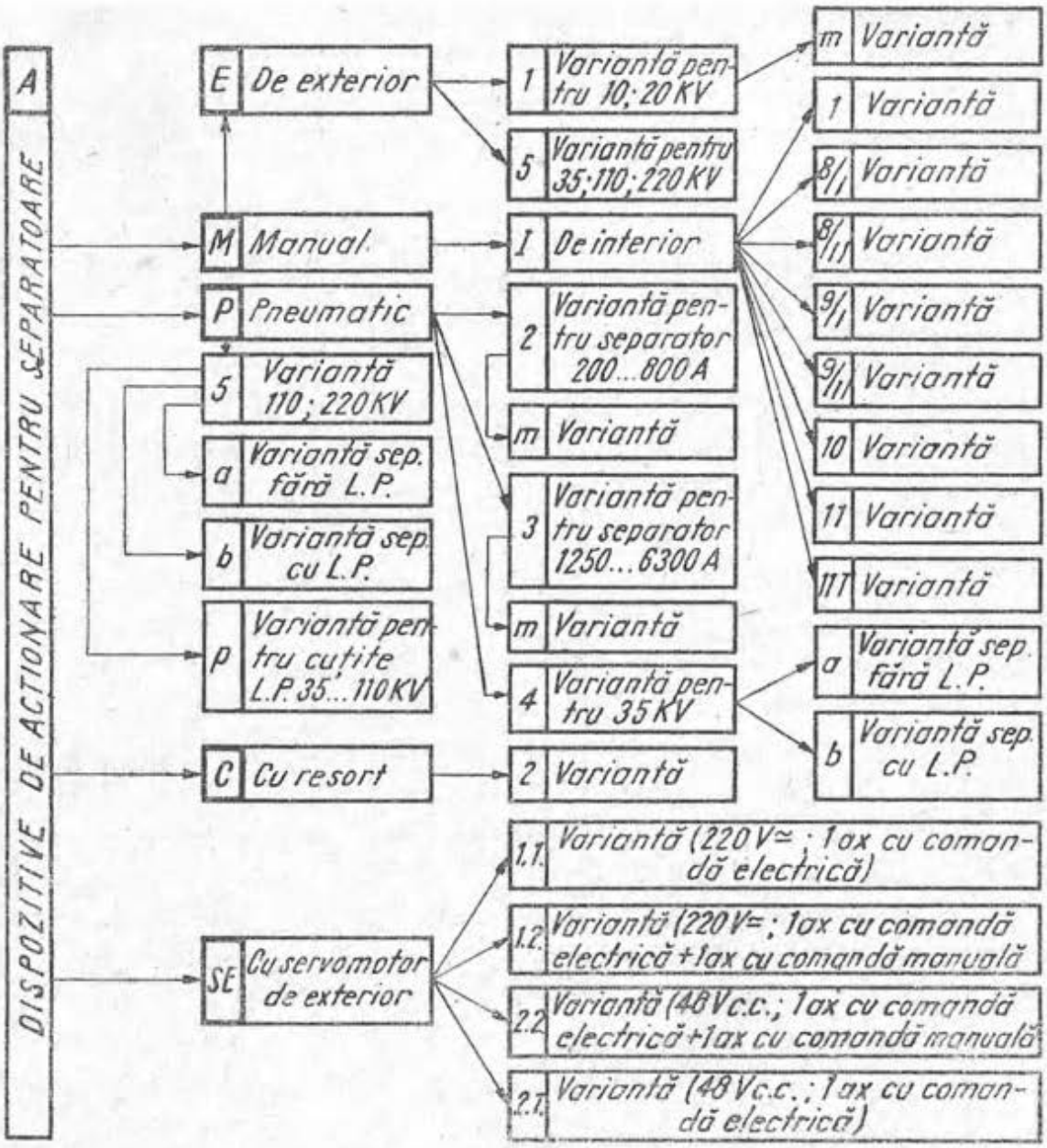


Fig. 2.4.

În fig. 2.4 este prezentată schema formării primei părți a simbolurilor dispozitivelor de acționare ale separatoarelor.

2.3. Verificarea separatoarelor

La verificarea separatoarelor se execută probele din tabelul 2.1.

Semnificația diverselor notații din tabelul 2.1 este prezentată la § 1.3. În plus, apare :

RK — reparație capitală.

Tabelul 2.1

Nr. curent probă	Denumirea probei	Momentul efectuării probei				
		PIF	RC_2	RT	RK	Observaţii, alte momente de efectuare a probei
2.3.1	Măsurarea rezistenţei de izolaţie a circuitelor principale de înaltă tensiune	X*	X	X	–	–
2.3.2	Încercarea izolaţiei principale cu tensiune alternativă mărită	X	X**	–	–	Proba este obligatorie la separatoarele cu $U_n \leqslant 35$ kV
2.3.3	Măsurarea rezistenţei de contact	X	X	X	–	Proba este obligatorie la : – separatore cu $I_N \geqslant 1\,000$ A – separatoare cu $U_N \geqslant 110$ kV
2.3.4	Verificarea dispozitivului de acţionare	X	X	X	–	–
2.3.5	Verificarea blocajelor între cuţitele principale şi cele de punere la pămînt	X	X	X	–	–
2.3.6	Probe funcţionale la închideri şi deschideri repetate	X	X	X	X	–

* Buletinele de fabrică sînt valabile la PIF dacă nu s-au depăşit 6 luni de la emiterea lor.

** Proba se execută la RC_2 dar nu mai rar de :

— 6 ani în staţii ;

— 3 ani în centrale.

Probele de la 2.3.1, 2.3.3 şi 2.3.5, prevăzute a se face cu ocazia RT, se vor efectua cu o periodicitate de 3 ani în cazul separatoarelor de bare colectoare.

În cele ce urmează nu va mai fi prezentat modul de efectuare a primelor 4 probe (2.3.1...2.3.4 din tabelul 2.1) acestea executîndu-se în același fel și urmărindu-se aceleași valori de control ca la probele similare de la întreruptoare.

2.3.5. *Verificarea blocajelor între cuțitele principale și cele de punere la pămînt*

În cazul dispozitivelor cu acționare manuală, existența blocajului mecanic între separatorul activ și cel de punere la pămînt se verifică mai întîi vizual și apoi în mod practic, acționînd în mod lent cele două separatoare.

Existența blocajului electric în cazul aceloraşi separatoare se verifică utilizînd cheile de la broaștele de blocaj respective.

În cazul dispozitivelor cu acționare prin servomotor electric sau cu aer comprimat, blocajul mecanic între cele două separatoare se verifică mai întîi vizual.

Pentru a verifica existența blocajului electric, se urmărește dacă elementele din dispozitivul de acționare care execută blocajul (releul RI-9 din dispozitivul ASE, bobinele de blocaj din dispozitivul pneumatic tip Cottbus, etc.) au acționat în sensul blocării. Numai după aceea se vor executa comenzile electrice care să ateste existența blocajului electric.

Dacă nu se procedează ca mai sus, se poate întîmpla ca în cazul unor greșeli în circuitele secundare să se producă avarierea separatorului respectiv sau chiar accidente grave.

2.3.6. *Probe funcționale ale separatoarelor la închideri și deschideri repetate*

În funcție de tipul dispozitivelor de acționare se vor executa :

— 10 acționări la tensiune și/sau presiune operativă nominală ;

— 10 acționări la tensiune și/sau presiune operativă minimă ;

— 10 acționări la tensiune și/sau presiune operativă maximă.

Valorile minime și maxime de acționare ale diverselor elemente ce intră în componența dispozitivelor de acționare sînt indicate în tabelul 1.4.

În timpul probelor funcționarea trebuie să fie sigură, contactele separatoarelor să fie perfect liniare, iar la atingerea lor să nu se producă vibrații nepermise ale izolatoarelor.

3. Transformatoare, autotransformatoare și bobine de stingere Caracteristici, verificări

3.1. Transformatoare și autotransformatoare, generalități

Transformatoarele și autotransformatoarele sînt aparate electrice alcătuite din înfășurări ce sînt dispuse pe un miez magnetic.

În funcție de circulația puterii prin transformator, înfășurarea care primește puterea din rețea este considerată ca *înfășurare primară*, iar cea care debitează putere în rețea este considerată ca *înfășurare secundară*.

Principalele caracteristici tehnice ale transformatoarelor și autotransformatoarelor sînt :

a) *Tensiunea nominală a unei înfășurări* U_N [kV]. Reprezintă tensiunea specificată a fi aplicată sau care apare la funcționarea în gol, între fazele transformatorului trifazat sau între bornele transformatorului monofazat.

b) *Raportul de transformare nominal* K_N. Reprezintă raportul dintre tensiunea nominală aplicată unei înfășurări și cea a unei alte înfășurări cu tensiunea nominală mai mică.

c) *Puterea nominală* S_N. Reprezintă valoarea convențională a puterii aparente [kVA] luată ca bază la construcția transformatorului, la garanții și încercări, și care determină

o valoare precisă a curentului nominal admisibil, atunci cînd se aplică tensiunea nominală pe priza corespunzătoare raportului nominal de transformare.

În tabelul 3.1 sînt indicate puterile nominale standardizate ale transformatoarelor trifazate.

Tabelul 3.1

Puteri nominale ale transformatoarelor [kVA]				
6,3	10	16	25	40
63	100	160	250	400
630	1 000	1 600	2 500	4 000
6 300	10 000	16 000	25 000	40 000
63 000	100 000	160 000	250 000	400 000
630 000				

Aceste puteri sînt garantate pentru regimul nominal de funcţionare al transformatorului, care presupune :

— funcţionarea pe priza nominală ;

— alimentarea cu tensiuni şi curenţi primari şi secundari nominali ;

— temperatura mediului de răcire este cea nominală, în condiţiile în care sistemul de răcire prevăzut funcţionează la întreaga capacitate.

e) *Curentul nominal* I_N [A]. Reprezintă curentul absorbit sau debitat de transformator. Valoarea lui se obţine cu ajutorul formulelor :

$I_N = \frac{S_N}{U_N}$, pentru transformatoare monofazate ;

$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N}$, pentru transformatoare trifazate.

f) *Frecvenţa nominală.* Reprezintă frecvenţa la care este destinat să funcţioneze transformatorul.

g) *Pierderile nominale la mersul în gol* [kW]. Reprezintă puterea activă absorbită cînd se aplică unei înfăşurări tensiunea nominală la frecvenţa nominală, celelalte înfăşurări fiind în gol.

h) *Curentul nominal la mersul în gol* [A]. Reprezintă media aritmetică a curenţilor absorbiţi pe fiecare fază a unei înfăşurări, în condiţiile de la pct. g.

i) *Tensiunea nominală de scurtcircuit.* Este tensiunea necesar a fi aplicată uneia din înfăşurările unui transformator (transformatorul fiind pe priza corespunzătoare raportului de transformare nominal), astfel încît prin înfăşurarea respectivă să circule curentul nominal, bornele celeilalte înfăşurări fiind scurtcircuitate.

j) *Pierderile nominale de scurtcircuit.* Reprezintă puterea activă absorbită de transformator, în condiţiile de la pct. i.

k) *Nivelul de izolaţie al înfăşurărilor.* Reprezintă tensiunile de încercare, la frecvenţă industrială şi la unda de impuls, a bornelor de intrare, precum şi tensiunea de încercare la frecvenţa industrială, a bornei de nul.

Pentru transformatoarele cu izolaţie plină care funcţionează în reţelele cu neutrul izolat, aceste valori sînt indicate în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2

Tensiunea nominală a reţelei	Tensiunea maximă de serviciu	Tensiunea de încercare la impuls		Tensiunea de încercare la frecvenţă industrială
		Undă plină	Undă tăiată	
kV	kV	kV vîrf	kV vîrf	kV
1	1,25	—	—	2,5
6	7,20	60	70	22
10	12,00	75	85	28
(15)	17,50	95	110	38
20	24,00	125	145	50
(30)	36,00	170	195	70
(35)	42,00	195	225	80
(60)	72,50	325	375	140
110	123,00	550	630	230
220	245,00	1 050	1 200	460

În cazul transformatoarelor care funcţionează în reţelele cu neutrul legat la pămînt (cu izolaţie degresivă) tensiunile de încercare sînt indicate în tabelul 3.3. Tensiunea de încercare la frecvenţă industrială a neutrului este diferită de cea a fazelor, depinzînd de modul de legare la pămînt a acestuia (prin impedanţă, rezistenţă sau descărcător cu rezistenţă variabilă).

Tabelul 3.3

Tensiunea nominală a reţelei	Tensiunea maximă de serviciu	Tensiunea de încercare la impuls		Tensiunea de încercare la frecvenţa industrială		
		Undă plină	Undă tăiată	Bornele fazelor	Borna neutrului	
					impedanţă, rezistenţă	DRV
kV	kV	kV vîrf	kV vîrf	kV	kV	kV
110	123	450	520	185	80	130
220	245	900	1 040	355	—	220
400	420	1 425	1 640	630	—	325

l) *Grupa de conexiune.* Indică modul în care sînt conectate înfăşurările unui transformator, precum şi defazajul tensiunilor lor.

În cazul transformatoarelor cu două înfăşurări, simbolul grupei de conexiune este alcătuit din două litere (una mare şi una mică) şi un număr.

Litera mare reprezintă conexiunea înfăşurării de Î.T., iar litera mică pe cea a înfăşurării de J.T. Aceste litere au următoarele semnificaţii :

Y ; y, conexiuni în stea,

D ; d, conexiuni în triunghi,

Z ; z, conexiuni în zig-zag,

I ; i, conexiuni monofazate.

Numărul înmulţit cu 30° indică defazajul dintre tensiunea aplicată în primarul şi cea obţinută în secundarul transformatorului.

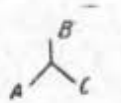
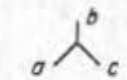
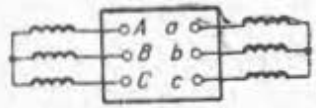
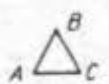
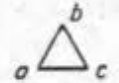
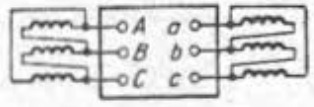
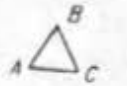
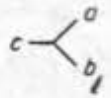
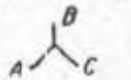
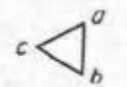
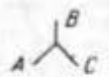
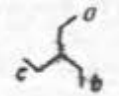
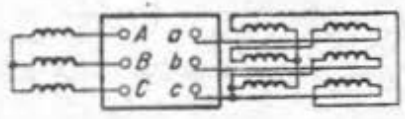
În cazul transformatoarelor cu trei înfăşurări, conexiunile se reprezintă prin 3 litere şi două numere. Ordinea literelor ce indică conexiunea este : ÎT ; MT ; JT.

Primul număr indică defazajul dintre ÎT—MT, în timp ce al doilea indică defazajul dintre ÎT—JT.

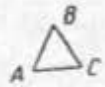
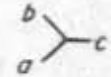
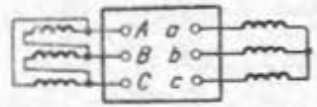
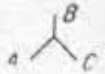
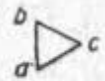
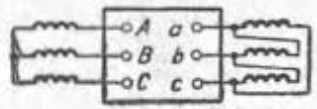
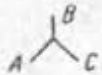
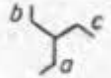
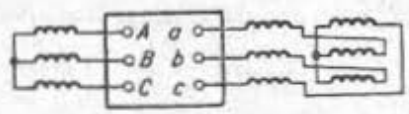
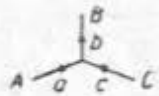
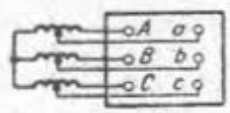
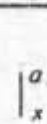
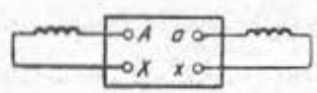
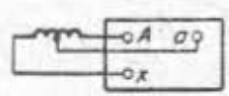
Principalele grupe de conexiuni ale transformatoarelor şi autotransformatoarelor sînt indicate în tabelul 3.4.

Simbolurile transformatoarelor şi autotransformatoarelor sînt formate din două grupe de litere despărţite prin linioară.

Tabelul 3.4

Grupa de conexiune	Diagrama vectorială a tensiunilor		Schema de conexiuni a înfăşurărilor		Raport de transformare	Domeniu de utilizare
	ÎT	JT	ÎT	JT		
1	2	3	4		5	6
Yy-0					$\frac{W_1}{W_2}$	Transformatoare coborîtoare pentru distribuţie de forţă. Transformatoare ridicătoare
Dd-0					$\frac{W_1}{W_2}$	Transformator coborîtor pentru distribuţie de forţă
Dy-5					$\frac{W_1}{\sqrt{3}\,W_2}$	Transformator coborîtor pentru distribuţie de lumină. Firul neutru se poate încărca cu 100%
Yd-5					$\frac{\sqrt{3}\,W_1}{W_2}$	Transformator ridicător sau coborîtor în centrale şi staţii
Yz-5					$\frac{2W_1}{\sqrt{3}\,W_2}$	Acelaşi ca la conexiunea Dy-5, pînă la 160 KVA

Tabelul 3.4 (continuare)

1	2	3	4	5	6
Dy-11				$\frac{W_1}{\sqrt{3}\,W_2}$	Același ca la conexiunea Dy-5
Yd-11				$\frac{\sqrt{3}\,W_1}{W_2}$	Același ca la conexiunea Yd-5
Yz-11				$\frac{2W_1}{\sqrt{3}\,W_2}$	Același ca la conexiunea Yz-5
Y-0				$\frac{W_1+W_2}{W_2}$	Autotransformatoare pentru interconectarea rețelelor de transport al energiei electrice
II-0				$\frac{W_1}{W_2}$	Transformatoare ridicătoare cuplate bloc cu generatoarele montate în locuri greu accesibile
I-0				$\frac{W_1+W_2}{W_2}$	Același ca la Y-0

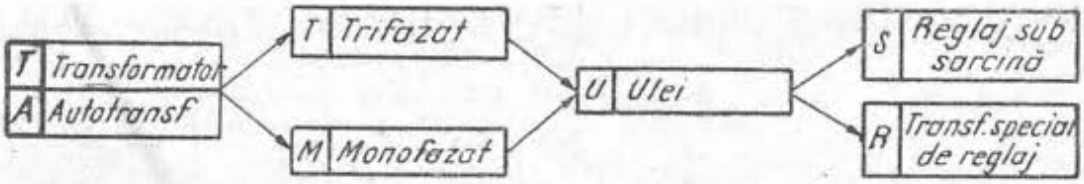


Fig. 3.1.

Prima grupă de 4 litere indică tipul transformatorului, fiecare literă avînd semnificaţia din fig. 3.1.

Dacă a patra literă lipseşte, transformatorul sau autotransformatorul este fără reglaj sau cu reglaj fără tensiune.

A doua grupă din două litere reprezintă modul de răcire, fiecare literă avînd semnificaţia din fig. 3.2.

Notarea bornelor pe capac se face folosind :

— litere mari pentru înfăşurarea cu tensiunea cea mai mare ;

— litere mari cu indice m, pentru înfăşurarea de tensiune medie ;

— litere mici, pentru înfăşurarea cu tensiunea cea mai mică.

Începutul înfăşurărilor este notat A, B, C, N ; Am, Bm, Cm, Nm şi a, b, c, n. Sfîrşitul înfăşurărilor este notat X, Y, Z ; Xm, Ym, Zm şi x, y, z.

Dispunerea bornelor pe capac se face ca în fig. 3.3, *a*, pentru transformatoarele cu două înfăşurări şi ca în fig. 3.3, *b*, pentru transformatoarele cu trei înfăşurări.

Fig. 3.2.

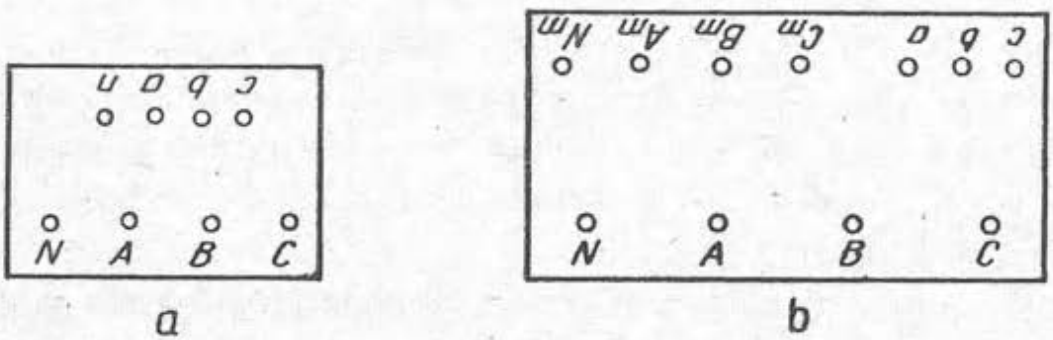


Fig. 3.3.

3.2. Bobine de strîngere, generalităţi

Bobinele de stingere au rolul de a compensa curenţii capacitivi care apar ca urmare a unor puneri la pămînt în reţelele cu neutrul izolat.

Ele se conectează între nulul înfăşurării de medie tensiune al transformatoarelor de putere şi pămînt.

În afara înfăşurării principale utilizate pentru compensare, bobina mai dispune de un transformator de curent cu raportul $I_N/5$ A, folosit pentru a măsura curentul debitat de ea, precum şi de un transformator de tensiune cu raportul $U_N/100$ V, cu ajutorul căruia se măsoară tensiunea de deplasare a neutrului.

3.3. Verificarea transformatoarelor şi autotransformatoarelor

3.3.1. *Încercarea uleiului din transformator*

Proba se efectuează conform indicaţiilor din tabelul 3.5.

La recoltarea probelor se vor respecta indicaţiile de la §1.3.6, preferîndu-se perioada de timp călduroasă, aprilie—septembrie. Temperatura uleiului trebuie să aibă o valoare apropiată de temperatura de funcţionare în regim normal.

La punerea în funcţiune a unui transformator nou sau după o reparaţie capitală, se admite ca probele de ulei prelevate din transformator să aibă temperatura minimă de 10°C.

Recoltarea probelor se va face de la buşoanele special prevăzute în acest scop, precum şi de la robinetele de golire ale cuvei, comutatorului de reglaj sub sarcină, sau al conservatorului.

De regulă nu se iau probe de ulei din izolatoarele închise ermetic.

Tabelul 3.5

Felul probei		Tensiunea superioară a transformatorului [kV]				Observaţii
		6 – 35 din reţea	6 – 35 din centrale	60 – 110	220 – 400	
Control curent (C.C.)		PIF; RT; RC_2; RK	RT	RT	– la 10 zile – la 1 lună – la 3 luni – la 6 luni de la PIF – la RT	Numai în primul an de la PIF
Analiză redusă (A.R.)		–	PIF; RC_2; RK	–	RT	–
Analiză completă (A.C.)		–	–	PIF; RC_2; RK	PIF; RC_2; RK	–
Analiză specială (A.S.)	Tensiune interfacială	–	–	–	–	Cînd celelalte rezultate privind starea izolaţiei nu corespund
	Conţinut de apă prin metoda K. Fischer	–	–	–	–	idem
	Conţinut de gaze în ulei	–	–	–	– PIF – la 3 luni de la PIF – RT	–

Conform celor prezentate în tabelul 3.5, analizele uleiului vor trebui să cuprindă probele indicate în tabelul 3.6.

După cum se observă, controlul curent cuprinde printre altele : verificarea aspectului, a cărbunelui în suspensie, a prezenţei apei în ulei, probe care reprezintă determinări calitative.

Tabelul 3.6

Nr. crt.	Denumirea probei	Control curent (C.C.)			Analiză redusă (A.R.)			Analiză completă (A.C.)		Analiză specială (A.S.)
		Transf. de 6–35 kV din rețea	Transf. de 6–35 kV din centrale	Transf. de 110 kV	Transf. de 6–35 kV din centrale	Transf. de 110 kV	Transf. de 220–400 kV	Transf. de 110 kV	Transf. de 220–400 kV	Transf. de 220–400 kV
1	Aspect	×	×	×	×	×	×	×	×	–
2	Cărbune în suspensie	×	×	×	×	×	×	×	×	–
3	Prezența apei în ulei	×	×	×	×	×	×	×	×	–
4	Punct de inflamabilitate	–	–	–	×	×	×	×	×	–
5	Punct de congelare	–	–	–	–	–	–	×	×	–
6	Aciditate organică	–	–	–	×	×	×	×	×	–
7	Impurități mecanice	–	–	–	–	×	×	×	×	–
8	Stabilitate la oxidare	–	–	–	–	–	–	×	×	×
9	Conținut de gaze în ulei	–	–	–	–	–	–	–	–	×
10	Tensiune interfacială	–	–	–	–	–	–	–	–	×
11	Conținut de apă	–	–	–	–	–	–	–	–	×
12	Rigiditate dielectrică	×	×	×	×	×	×	×	×	–
13	Tangentă δ	–	×	×	×	×	×	×	×	–

Controlul curent mai cuprinde și măsurarea rigidității dielectrice și a factorului de pierderi tg δ, care reprezintă determinări cantitative. Valorile minime admisibile pentru rigiditatea dielectrică sînt indicate în tabelul 3.7, iar cele maxime admisibile pentru tg δ, în tabelul 3.8.

Tabelul 3.7

Momentul efectuării probei	Rigiditatea dielectrică minimă [kV/cm]				
	Cuvă				Comutator de ploturi
	6–35 kV	60–110 kV	220 kV	400 kV	
— Înainte de umplere	200	200	220	240	125–150
— La 72 ore după umplere	180	200	220	240	
— La PIF	160	180	200	220	
— În exploatare	120	160	180	200	

Tabelul 3.8

Momentul efectuării probei	tg δ la 90°C			
	6–35 kV	60–110 kV	220 kV	400 kV
— Înainte de umplere	0,005	0,005	0,005	0,005
— La 72 de ore după umplere	0,020	0,020	0,015	0,015
— La PIF sau după reparații în atelierele de specialitate	0,030	0,025	0,020	0,020
— În exploatare	0,200	0,150	0,100	0,070

În cazul efectuării analizei reduse, analizei complete sau analizei speciale, modul de execuție a fiecărei probe, precum și valorile minime sau maxime admisibile pentru acestea, sînt indicate în [13 ; 14 ; 15 ; 16 ; 17 ; 18 ; 19 ; 20 ; 21].

3.3.2. *Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor R 60 și a coeficientului de absorbție* R_{60}/R_{15}

3.3.2.1. Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor R 60. Măsurarea rezistenței de izolație reprezintă unul din factorii care permite aprecierea stării izolației unui transformator.

La puneri în funcțiune proba se execută indiferent de puterea transformatorului. În afara punerilor în funcțiune, proba se execută astfel :

a) La transformatoarele cu tensiunea superioară de cel puțin 110 kV și S_N cel puțin 80 MVA, precum și la transformatoarele de servicii interne din centrale :

— la 3 luni de la PIF ;
— la RT, dar nu mai rar de un an ;
— la cea de a doua reparație curentă (RC_2) ;
— la reparația capitală (RK) ;
— la schimbarea uleiului.

b) La transformatoarele care nu fac parte din categoria precedentă proba se execută :

— odată la 2 RT, dar nu mai rar de 2 ani ;
— la cea de a doua reparație curentă (RC_2) ;
— la reparație capitală (RK) ;
— la schimbarea uleiului.

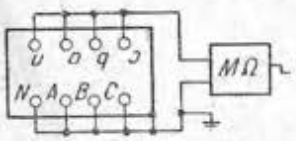
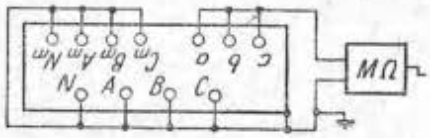
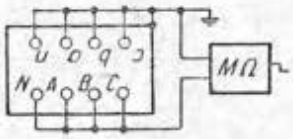
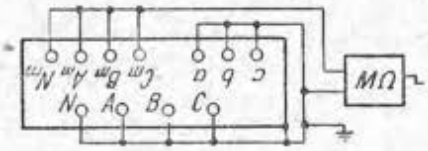
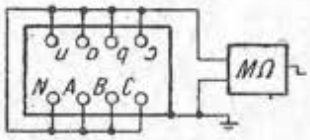
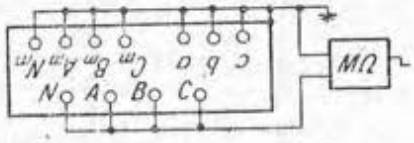
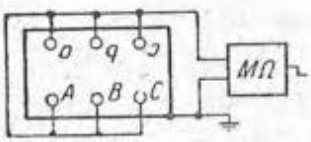
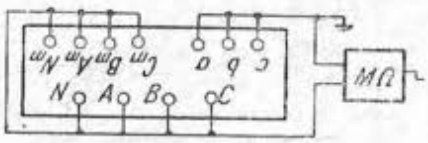
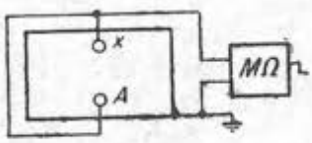
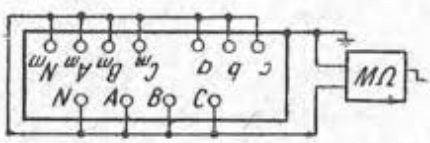
Măsurarea rezistenței de izolație și a coeficientului de absorbție este o probă ce se execută înaintea măsurării tg δ și a capacității înfășurărilor, precum și înainte și după proba cu tensiune mărită.

Pentru efectuarea măsurărilor se utilizează megohmmetre de :

— 1 000 V, pentru înfășurări cu tensiunea $\leqslant$ 10 kV ;
— 2 500 sau 5 000 V, pentru înfășurări cu tensiunea $\geqslant$ 10 kV.

Rezistența de izolație se măsoară la 60 s de la aplicarea tensiunii de încercare, de unde și denumirea de R_{60}.

În principiu la executarea măsurărilor se vor respecta schemele utilizate în fabrica constructoare. Dacă acestea nu sînt cunoscute, se vor utiliza schemele din tabelul 3.9.

Transformatoare cu două înfăşurări	JT — ÎT + cuvă + pământ 	Transformator cu trei înfăşurări	JT—ÎT+MT+cuvă+pământ 
	ÎT — JT + cuvă + pământ 		MT—ÎT+JT+cuvă+pământ 
	ÎT + JT — cuvă + pământ* 		ÎT—MT+JT+cuvă+pământ 
Autotransformatoare	ÎT + JT — cuvă + pământ 		ÎT+MT—JT+cuvă+pământ* 
Bobine de stingere	ÎT—cuvă+pământ 		ÎT+MT+JT—cuvă+pământ* 

* $S_N \geqslant 16$ MVA

Înaintea începerii probei este necesar ca toate înfăşurările să fie puse la pământ cel puţin 5 minute, iar între încercări, cel puţin 2 minute.

În timpul măsurărilor temperatura izolaţiei nu trebuie să fie mai mică de +10°C.

Întrucît rezistenţa de izolaţie variază invers proporţional cu temperatura, este recomandat ca la transformatoarele cu

Tabelul 3.10

Δt (°C)	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
K	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22	1,50	1,84	2,25	2,75	3,40	4,15	5,10	6,20	7,50	9,20	11,2	13,9	17

puterea nominală $\geqslant$ 100 MVA şi tensiuni $\geqslant$ 220 kV, măsurările să se execute la o temperatură care să nu varieze cu mai mult de $\pm$ 5—10°C, faţă de temperatura din buletinul de fabrică. Această recomandare este obligatorie la PIF.

Din cele de mai sus rezultă că pentru a putea compara rezultatele măsurărilor periodice între ele, precum şi cu cele din fabrică, ar fi necesar ca probele să se execute mereu la aceeaşi temperatură. Acest lucru nefiind practic posibil, se recurge la recalcularea valorii de referinţă, la temperatura la care executăm măsurările. Pentru aceasta se utilizează formula :

$$R_{izt1} = R_{izt2} \cdot K$$

unde : R_{izt1} este rezistenţa de izolaţie de referinţă, recalculată la temperatura t_1, la care efectuăm măsurarea ; R_{izt2} — rezistenţa de izolaţie de referinţă, măsurată la temperatura t_2 ; K — coeficient de corecţie a rezistenţei de izolaţie în funcţie de temperatură. Valoarea sa rezultă din tabelul 3.10, în funcţie de diferenţa $\Delta t = t_2 - t_1$ [°C].

Valorile minime ale rezistenţei de izolaţie nu trebuie să scadă sub :

— 70% din valoarea iniţială recalculată (R_{izt1}), pentru transformatoare la PIF sau reparate în ateliere specializate ;

— 60% din valoarea iniţială recalculată (R_{izt1}), pentru transformatoare în exploatare sau reparate în condiţii de teren.

Valorile iniţiale, sînt după caz, cele din buletinul de fabrică sau cele de la PIF.

Pentru transformatoarele la care nu se cunosc datele iniţiale, se admit ca valabile valorile rezistenţei de izolaţie la 20°C indicate în tabelul 3.11.

Tabelul 3.11

Tensiunea nominală U_N (kV)	$U_N \leqslant 0{,}5$	$0{,}5 < U_N \leqslant 20$	$25 \leqslant U_N \leqslant 60$	$110 \leqslant U_N \leqslant 220$	$U_N = 400$
R_{60}(MΩ)	2	450	600	1 000	2 000

3.3.2.2. **Măsurarea coeficientului de absorbție.** Coeficientul de absorbție K_{ab} este definit ca raportul dintre valorile rezistenței de izolație R_{60}, măsurată la 60 s după aplicarea tensiunii de încercare și R_{15}, măsurată la 15 s din același moment, $K_{ab} = R_{60}/R_{15}$. El servește la aprecierea conținutului în umiditate a izolației transformatorului.

Cunoașterea umidității transformatoarelor este foarte importantă atît pentru fabrica producătoare, unde trebuie să se stabilească dacă transformatorul este suficient de uscat, cît și în exploatare, pentru a aprecia comportarea izolației transformatorului în timp.

Coeficientul de absorbție trebuie să aibă valorile minime din tabelul 3.12, cu condiția ca el să fie măsurat la temperaturi cuprinse între 10—30°C.

Dacă valorile lui K_{ab} se apropie de 1, înseamnă că izolația este umezită.

Tabelul 3.12

Tensiunea nominală U_N (kV)		$U_N \leqslant 35$	$35 \leqslant U_N \leqslant 110$	$U_N \geqslant 110$
Coeficient de absorbție K_{ab}	— Transformatoare noi la PIF — Transformatoare reparate în ateliere specializate	$K_{ab} \geqslant 1{,}3$	—	$1{,}5 \leqslant K_{ab} \leqslant 2$
	— În exploatare	$K_{ab} \geqslant 1{,}2$	$K_{ab} \geqslant 1{,}2$	$K_{ab} \geqslant 1{,}4$

3.3.3. *Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice (tg δ) al izolației complexe a înfășurărilor*

Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice este deosebit de importantă, ea constituind un alt factor care concură la aprecierea stării izolației unui transformator.

Diagrama vectorială simplificată a curenților ce iau naștere într-un dielectric căruia i se aplică o tensiune U este prezentată în fig. 3.4 , în care :

— I, este curentul prin dielectric,
— I_c, componenta capacitivă a lui I,
— I_a, componenta activă a lui I.

Pierderile în dielectric sînt date de relația :

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Din fig. 3.4 rezultă :

$$P = U \cdot I_c \cdot \operatorname{tg} \delta$$

în care δ este numit unghiul pierderilor dielectrice.

Dacă C este capacitatea dielectricului, I_c va avea valoarea :

$$I_c = \omega \cdot C \cdot U,$$

în care ω este pulsația tensiunii sinusoidale U aplicate dielectricului.

Cu relația de mai sus, expresia pierderilor în dielectric devine :

$$P = \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot \operatorname{tg} \delta$$

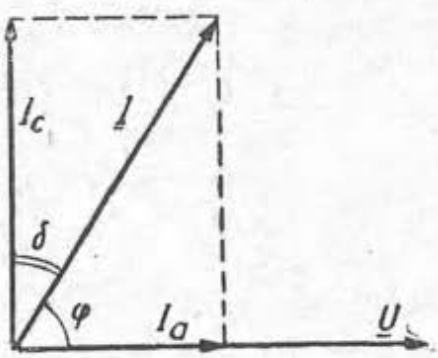


Fig. 3.4.

Se observă deci că pierderile în dielectric cresc proporțional cu tg δ, care din acest motiv se mai numește și *factor de pierderi dielectrice.*

Măsurarea tg δ este obligatorie pentru :

— transformare cu tensiuni $\geqslant$ 110 kV ;

— transformatoare cu $S_N \geqslant$ $\geqslant$ 6,3 MVA, indiferent de tensiune ;

— transformatoare ce alimentează serviciile interne ale blocului cazan, turbină, generator etc., cu excepția celor de MT/0,4 kV.

La transformatoarele cu tensiuni $\leqslant 35$ kV din rețeaua de distribuție, proba este facultativă.

Din punct de vedere al periodicității în timp, proba se execută astfel :

— la PIF, pentru toate categoriile menționate ;

— la transformatoare cu $U_N \geqslant 110$ kV și $S_N \geqslant 80$ MVA, precum și pentru transformatoarele ce alimentează serviciile interne ale blocului cazan, turbină, generator etc., efectuarea probei se face :

— la 3 luni de la PIF ;
— la RT, dar nu mai rar de 1 an ;
— la a doua revizie curentă RC_2 ;
— la reparația capitală RK ;
— la înlocuirea uleiului.

— la transformatoarele ce nu fac parte din categoria precedentă, proba se execută :

— la RT, dar nu mai rar de 1 an ;
— la a doua revizie curentă RC_2 ;
— la reparația capitală RK ;
— la înlocuirea uleiului.

Proba se efectuează numai după ce rezultatele obținute la măsurarea rigidității dielectrice a uleiului, a rezistenței de izolație și a coeficientului de absorbție au fost satisfăcătoare.

Pentru efectuarea măsurărilor se utilizează puntea Schering. Ea dispune de patru brațe (fig. 3.5), din care unul reprezintă capacitatea obiectului de încercat C_x, al doilea — un condensator etalon C_E, al treilea — o rezistență variabilă de precizie cu decade R_v, iar al patrulea — este format dintr-o rezistență de precizie R_N, în paralel cu o capacitate C_N variabilă. Puntea este alimentată de la transformatorul ridicător T.

În diagonala punții există un indicator de nul G.

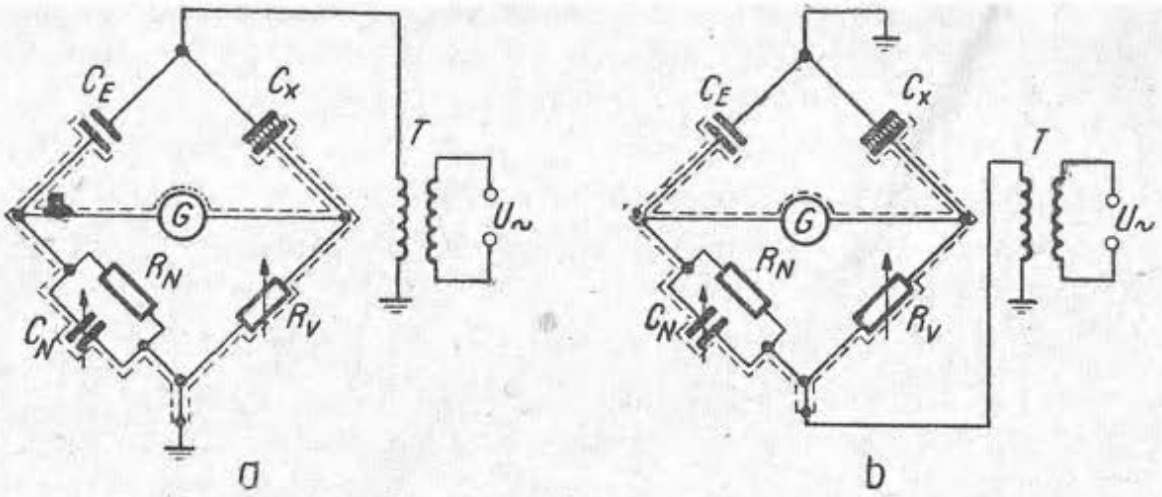


Fig. 3.5.

În cazurile cînd ambii electrozi ai obiectului de încercat C_x sînt izolați, se utilizează schema „normală" a punții Schering (fig. 3.5, *a*). Dacă unul din electrozii obiectului de încercat Cx este legat la pămînt, se utilizează schema „răsturnată" a punții Schering (fig. 3.5, *b*).

Întrucît la probele ce se execută în mod curent în teren, unul din electrozii obiectului de încercat (transformator de putere, de curent, de tensiune etc.) este legat ferm la pămînt, este necesară de regulă utilizarea schemei „răsturnate". În acest caz toate elementele de reglaj ale punții se află la un potențial înalt față de pămînt și de aceea butoanele sale de reglaj sînt izolate în interiorul punții, prin tije izolante.

În afara celor prezentate, unele firme producătoare au fabricat punți ce funcționează cu diagonala pusă la pămînt. În acest mod elementele de reglaj ale punții se găsesc la un potențial scăzut față de pămînt, dar rezultatele sînt de regulă influențate de prezența unor capacități parazite, fapt pentru care trebuie efectuate unele corecții asupra măsurărilor.

Indiferent de schema utilizată, în momentul realizării echilibrului prin reglarea succesivă a rezistenței R_v și a capacității C_N, se obține :

$$C_x = C_E \frac{R_N}{R_v}$$

$$\operatorname{tg} \delta_x = R_N \cdot \omega \cdot C_N$$

Tabelul 3.13

	Puntea Schering conectată în schemă „normală"		Puntea Schering conectată în schemă „răsturnată"	
	Zonă măsurată	Legat la ecran	Zonă măsurată	Legat la pămînt
Transformator cu 2 înfășurări	ÎT – cuvă	JT	ÎT – JT + cuvă	JT + cuvă
	ÎT – JT	cuvă	JT – ÎT + cuvă	ÎT + cuvă
	ÎT – JT + cuvă	–	ÎT + JT – cuvă	cuvă
Transformator cu 3 înfășurări	ÎT – cuvă	MT + JT	ÎT – MT + JT + cuvă	MT + JT + cuvă
	ÎT – MT	JT + cuvă	MT – ÎT + JT + cuvă	ÎT+JT+cuvă
	ÎT – MT + JT + cuvă	–	JT – ÎT + MT + cuvă	ÎT+MT+cuvă
	MT – cuvă	ÎT+JT	ÎT + MT – JT + cuvă	JT+cuvă
	MT – JT	ÎT + cuvă	ÎT + JT – MT + cuvă	MT+cuvă
	MT – ÎT + JT + cuvă	–	MT + JT – ÎT + cuvă	ÎT+cuvă
	–	–	ÎT + MT + JT – cuvă	cuvă

Înaintea începerii măsurărilor, toate înfăşurările se pun la pămînt timp de 5 minute, iar între diverse încercări, alte 2 minute. În principiu pentru efectuarea măsurărilor se vor respecta schemele utilizate de fabrica constructoare a transformatorului. În situaţia cînd aceste scheme nu se cunosc, vor fi utilizate schemele de măsurare indicate în tabelul 3.13 [22 ; 23].

Dacă se utilizează schema „normală" a punţii Schering, este necesar ca transformatorul să fie izolat faţă de pămînt printr-un material cu o rezistenţă de izolaţie de cel puţin 10 MΩ, măsurată cu megohmmetrul de 2 500 V.

Autotransformatoarele trifazate cu terţiar pot fi asimilate pentru măsurarea tg δ, cu transformatoare cu două înfăşurări (una din înfăşurări fiind considerată terţiarul). Autotransformatoarele simple sînt considerate ca avînd o singură înfăşurare.

După cum se observă în tabelul 3.13, utilizarea schemelor „răsturnate" oferă o imagine globală a tg δ. În acest caz, dacă se doreşte obţinerea unor rezultate precise ale tg δ între diverse elemente, se porneşte de la schemele echivalente ale izolaţiei transformatoarelor [23], fig. 3.6.

La un transformator cu două înfăşurări (fig. 3.6, *a*) pentru cele trei zone de măsurare din tabelul 3.13 ale schemei „răsturnate", se obţin în urma măsurărilor valorile globale tg δ_1, tg δ_2, tg δ_3 şi C_1, C_2, C_3.

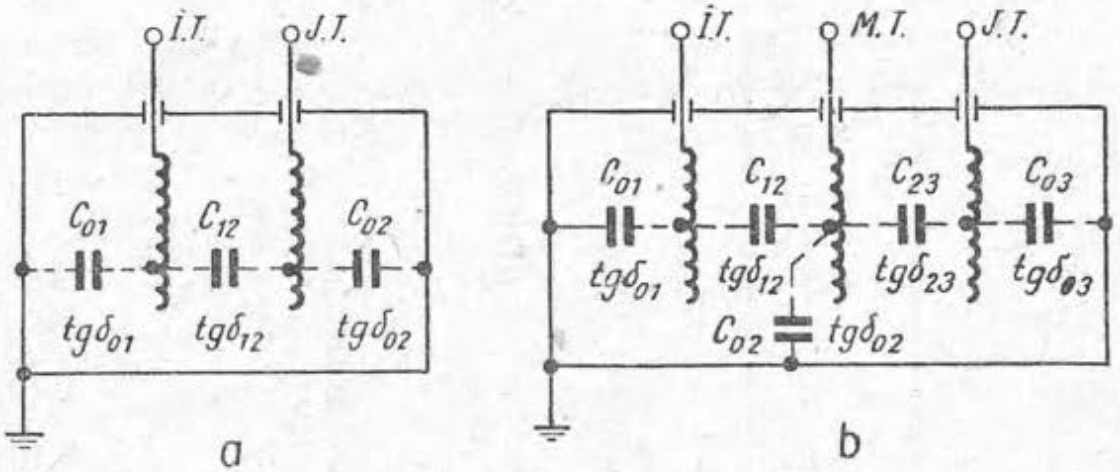


Fig. 3.6.

Exprimînd aceste valori globale în funcție de mărimile similare ce intervin între înfășurări sau între înfășurări și masă (fig. 3.6, *a*), obținem :

— zona ÎT — JT + cuvă (se măsoară $\operatorname{tg}\delta_1$ și C_1) :

$$\begin{cases} C_1 = C_{01} + C_{12} \\ \operatorname{tg}\delta_1 = \dfrac{C_{01}\operatorname{tg}\delta_{01} + C_{12}\operatorname{tg}\delta_{12}}{C_1} \end{cases}$$

— zona JT — ÎT + cuvă (se măsoară $\operatorname{tg}\delta_2$ și C_2) :

$$\begin{cases} C_2 = C_{02} + C_{12} \\ \operatorname{tg}\delta_2 = \dfrac{C_{02}\operatorname{tg}\delta_{02} + C_{12}\operatorname{tg}\delta_{12}}{C_2} \end{cases}$$

— zona ÎT + JT — cuvă (se măsoară $\operatorname{tg}\delta_3$ și C_3) :

$$\begin{cases} C_3 = C_{01} + C_{02} \\ \operatorname{tg}\delta_3 = \dfrac{C_{01}\operatorname{tg}\delta_{01} + C_{02}\operatorname{tg}\delta_{02}}{C_3} \end{cases}$$

În cele 6 ecuații formate mai sus, necunoscutele sînt $\operatorname{tg}\delta_{01}$, $\operatorname{tg}\delta_{02}$, $\operatorname{tg}\delta_{12}$, C_{01}, C_{02}, C_{12}, deoarece valorile $\operatorname{tg}\delta_1$, $\operatorname{tg}\delta_2$, $\operatorname{tg}\delta_3$, C_1, C_2, C_3 se obțin ca urmare a măsurărilor.

Prin rezolvarea sistemului de 6 ecuații cu 6 necunoscute se obține :

$$\operatorname{tg}\delta_{01} = \frac{C_1\operatorname{tg}\delta_1 - C_2\operatorname{tg}\delta_2 + C_3\operatorname{tg}\delta_3}{C_1 - C_2 + C_3} \qquad C_{01} = \frac{C_1 - C_2 + C_3}{2}$$

$$\operatorname{tg}\delta_{02} = \frac{-C_1\operatorname{tg}\delta_1 + C_2\operatorname{tg}\delta_2 + C_3\operatorname{tg}\delta_3}{-C_1 + C_2 + C_3} \qquad C_{02} = \frac{-C_1 + C_2 + C_3}{2}$$

$$\operatorname{tg}\delta_{12} = \frac{C_1\operatorname{tg}\delta_1 + C_2\operatorname{tg}\delta_2 - C_3\operatorname{tg}\delta_3}{C_1 + C_2 - C_3} \qquad C_{12} = \frac{C_1 + C_2 - C_3}{2}$$

Efectuarea acestor calcule și obținerea valorilor precise ale $\operatorname{tg}\delta$ între diverse elemente este necesară atunci cînd există dubii asupra stării izolației și cînd se dorește identificarea cu mai mare precizie a zonei afectate.

La transformatoarele cu trei înfășurări se procedează în mod asemănător.

În prezent în țara noastră pentru efectuarea măsurărilor în teren, se utilizează de regulă două tipuri de punți Schering. În fig. 3.7 este prezentat modul de conectare a punții MD-16, iar în fig. 3.8 — cel al punții P595, ambele în schemă „răsturnată", zona măsurată fiind ÎT — JT + cuvă.

În ambele scheme transformatorul ridicător T trebuie să furnizeze o tensiune de 10 kV, pentru încercarea înfășurărilor cu o tensiune nominală $\geqslant$ 10 kV. Pentru înfășurările cu tensiuni nominale $<$ 10 kV, tensiunile de încercare vor fi tensiunile nominale ale înfășurărilor respective.

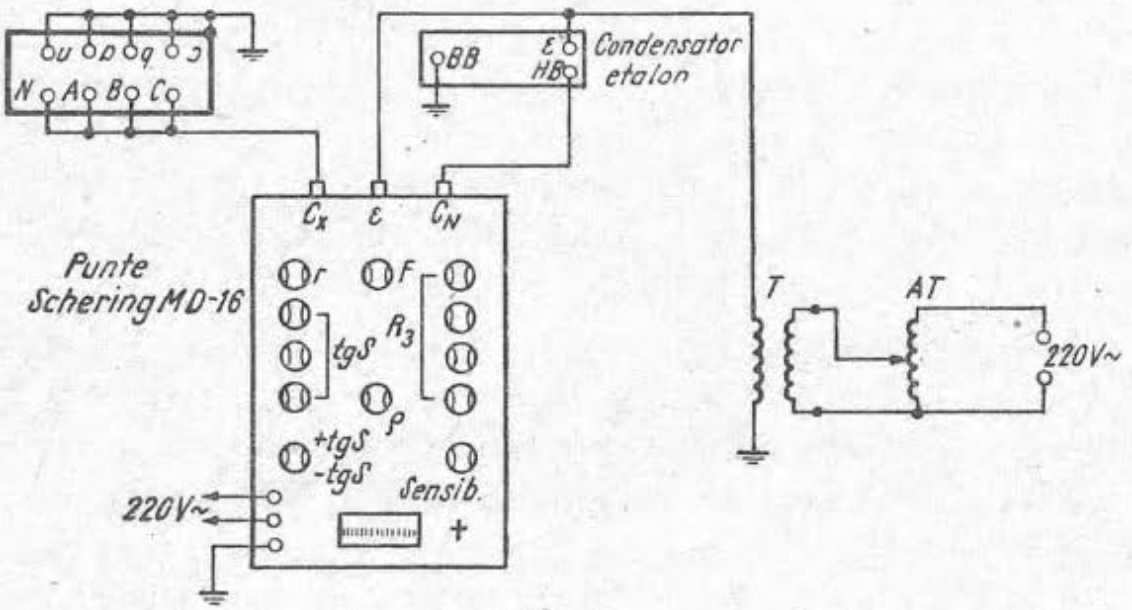


Fig. 3.7.

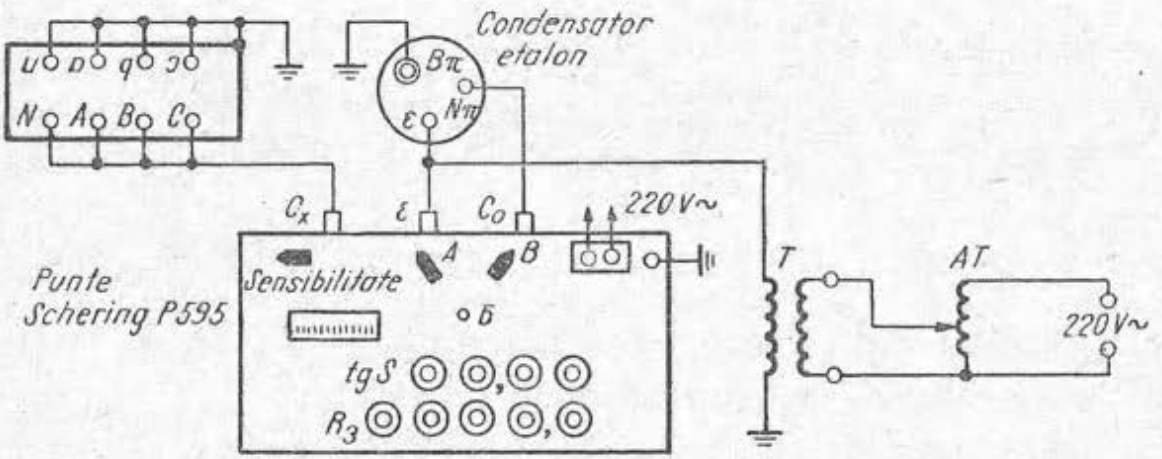


Fig. 3.8.

Tabelul 3.14

Δt (°C)	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
K_2	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,25	1,51	1,75	2,00	2,30	2,65	3,00	3,50	4,00	4,60	5,30	6,10	7,00

Este recomandat ca măsurările să nu se execute la o temperatură a izolației mai mică de 10°C.

În cazul transformatoarelor și autotransformatoarelor de puteri mari (peste 100 MVA inclusiv și tensiuni peste 220 kV inclusiv), este important ca măsurările să se execute la o temperatură cît mai apropiată de cea la care s-a efectuat proba în fabrică. Ecartul maxim nu trebuie să depășească $\pm 5-10$°C, față de această temperatură.

Conform [5] recomandarea de mai sus devine obligatorie la PIF sau cînd există dubii asupra determinărilor la temperaturi mai joase.

Ca și în cazul măsurării R_{60}, se poate face o recalculare a tg δ, în scopul comparării cu valorile măsurate anterior.

Pentru recalcularea valorii de referință la o altă temperatură decît cea la care a fost ea măsurată inițial, se utilizează formula :

$$\operatorname{tg} \delta_{t1} = \frac{\operatorname{tg} \delta_{t2}}{K_2}$$

unde : tg δ_{t1} este tg δ de referință recalculată la temperatura t_1, la care efectuăm măsurarea ; tg δ_{t2} este tg δ de referință măsurată la temperatura t_2. K_2 este un factor de corecție în funcție de temperatură, care se determină din tabelul 3.14, în funcție de diferența $\Delta t = t_2 - t_1$.

Valorile de comparație pentru tg δ vor fi :

— la PIF tg δ măsurată nu trebuie să depășească cu 30% valoarea de referință ;

— în exploatare și după reparații, tg δ nu trebuie să depășească valorile din tabelul 3.15, care sînt date pentru temperatura de 20°C.

Tabelul 3.15

U_N (kV)	Transformatoare în exploatare				Transformatoare reparate	
	$U_N < 10$	$10 \leqslant U_N \leqslant 35$	$110 \leqslant U_N < 220$	$330 \leqslant U_N \leqslant 500$	$U_N \leqslant 35$	$U_N > 35$
tg δ (%)	4	2,5	2,5	1,3	2	1

3.3.4. *Măsurarea tg δ și a capacității izolatoarelor de trecere cu ulei, pentru transformatoare cu $U_N \geqslant 220$ kV*

Aceste măsurări se execută :

— la PIF ;

— la RT, dar nu mai rar de 1 an în cazul izolatoarelor prevăzute cu borne separate de măsurare a tg δ și a capacității ;

— la RK sau la RC_2, în cazul izolatoarelor care nu au prevăzute borne speciale de măsurare. În aceste situații este necesară demontarea izolatoarelor.

Probele se execută cu punți MD-16 sau P 595. Rezultatele măsurărilor trebuie să corespundă cu valorile de referință. În lipsa acestor valori, se admite în cazul izolatoarelor de trecere cu izolație cu bariere și ulei de 220 kV, valoarea maximă de 2%, iar în cazul izolatoarelor de trecere de tip condensator de 220 kV, valoarea maximă de 1%.

Pentru capacități, valoarea obținută nu trebuie să difere cu mai mult de 1% din valoarea măsurată anterior.

3.3.5. *Măsurarea rezistenței de izolație a jugului, buloanelor, bolțurilor și consolelor*

Proba se execută la :

— PIF, în cazul în care există placă de borne special prevăzută în acest scop ;

— a doua reparație curentă sau la reparația capitală, cu demontarea transformatorului ;

— decuvări.

În caz că transformatorul nu dispune de placă de borne pentru măsurare, se procedează ca în fig. 3.9 (după decuvare).

Valorile obținute nu trebuie să fie mai mici decît 70% din cele de referință.

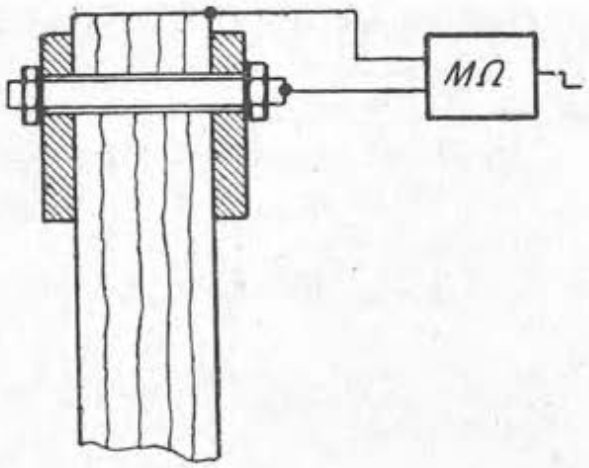


Fig. 3.9.

3.3.6. *Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor*

Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor este deosebit de importantă deoarece permite :

— determinarea rezistenței reale a înfășurărilor ;

— verificarea calității lipiturilor sau a sudurilor efectuate la înfășurări ;

— depistarea unor eventuale întreruperi ale înfășurărilor ;

— evidențierea unor scurtcircuite nete între spirele înfășurărilor ;

— verificarea calității conexiunilor la comutatorul de reglaj sub sarcină, etc.

Proba se execută la :

— PIF ;

— RT, dar nu mai rar de 1 an la transformatoare cu reglaj sub sarcină ;

— reparații sau intervenții executate la înfășurări sau comutatorul de ploturi ;

— montarea sau demontarea izolatoarelor de trecere ;

— modificarea conexiunilor ;

— schimbarea poziției comutatorului de reglaj al tensiunii, la transformatoarele fără reglaj sub sarcină sau la bobinele de stingere cu ploturi.

Indiferent de conexiunea transformatorului, este necesar ca rezistențele ohmice ale înfășurărilor să fie măsurate pe fiecare fază în parte.

Pentru înfășurările în stea cu neutrul accesibil, măsurările se execută între bornele de înaltă, medie sau joasă tensiune și neutrul respectiv.

În cazul cînd transformatorul este conectat în stea și nu are neutrul accesibil (fig. 3.10, *a*), se vor măsura rezistențele între faze, R_{AB}, R_{BC} și R_{CA}, urmînd ca rezistențele fiecărei faze R_A, R_B, R_C să se determine cu formulele :

$$R_A = \frac{1}{2}(R_{AB} + R_{CA} - R_{BC})$$

$$R_B = \frac{1}{2}(R_{BC} + R_{AB} - R_{CA})$$

$$R_C = \frac{1}{2}(R_{CA} + R_{BC} - R_{AB})$$

Dacă rezistențele măsurate, $R_{AB} = R_{BC} = R_{CA} = R$, rezistența unei faze este dată de formula :

$$R_{A(B,C)} = \frac{R}{2}$$

În cazul cînd transformatorul este conectat în triunghi (fig. 3.10, *b*), se vor măsura ca și mai sus rezistențele între faze, R_{AB}, R_{BC} și R_{CA}, urmînd ca rezistențele pe fază să se determine cu relațiile :

$$R_A = \frac{1}{2}\left[\frac{4R_{BC} \cdot R_{CA}}{-R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}} - (-R_{AB} + R_{BC} + R_{CA})\right]$$

$$R_B = \frac{1}{2}\left[\frac{4R_{CA} \cdot R_{AB}}{R_{AB} - R_{BC} + R_{CA}} - (R_{AB} - R_{BC} + R_{CA})\right]$$

$$R_C = \frac{1}{2}\left[\frac{4R_{AB} \cdot R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC} - R_{CA}} - (R_{AB} + R_{BC} - R_{CA})\right]$$

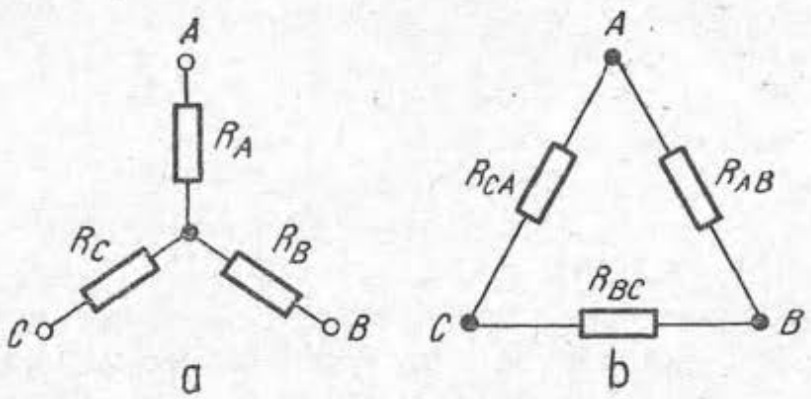


Fig. 3.10.

Dacă rezistențele măsurate, $R_{AB} = R_{BC} = R_{CA} = R$, rezistența unei faze este dată de formula $R_{A(B,C)} = \frac{3}{2} R$. Rezistențele ohmice se vor măsura pe fiecare plot al comutatorului de reglaj.

Este recomandat ca măsurările să se execute cu transformatorul în stare rece, astfel încît să nu existe diferențe între diverse straturi ale uleiului.

În acest scop după deconectare, în funcție de mărimea transformatorului, acesta va trebui lăsat să se răcească 3—10 ore sau chiar mai mult.

În cazul cînd rezistențele au fost măsurate la temperatura t_1, iar valorile inițiale au fost măsurate la temperatura t_2, recalcularea rezistențelor la această temperatură se face cu formula :

$$R_{t2} = R_{t1} \frac{t_2 + 235}{t_1 + 235}$$

unde R_{t1} este rezistența măsurată la temperatura t_1 ; R_{t2} — valoarea recalculată a rezistenței R_{t1} pentru temperatura t_2.

Măsurarea rezistențelor ohmice ale înfășurărilor se poate face prin mai multe metode.

3.3.6.1. **Metoda voltmetru-ampermetru.** Proba se execută utilizînd montajul din fig. 3.11. Întrucît rezistențele măsurate sînt de ordinul ohmilor sau al zecimilor de ohm, se va utiliza metoda aval.

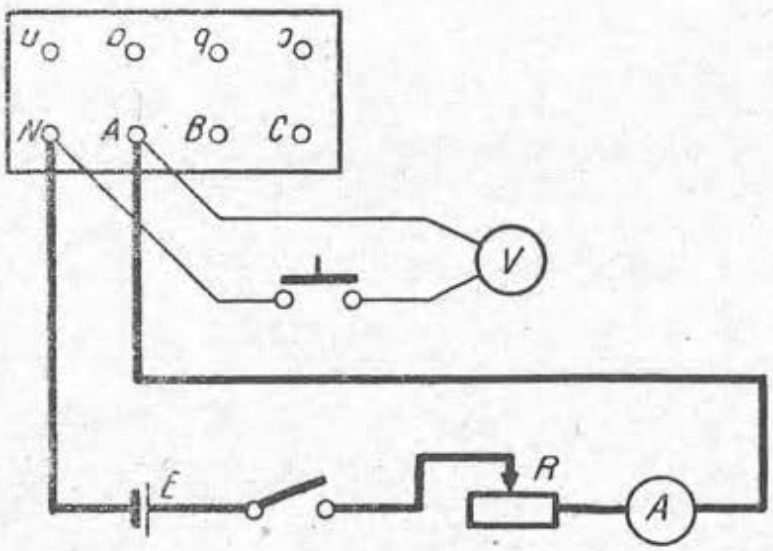


Fig. 3.11.

Principalul dezavantaj al metodei constă în faptul că citirea aparatelor nu se poate face decît după un anumit timp de la conectarea curentului continuu, perioadă în care trebuie să se amortizeze regimul tranzitoriu datorat conectării. Acest timp poate fi aproximat cu relaţia :

$$t = 1{,}5\frac{U_N\sqrt{2}}{U\omega}\ [\text{s}]$$

unde U_N este tensiunea nominală a înfăşurării [V] ; U — tensiunea bateriei de curent continuu [V] ; ω — pulsaţia curentului alternativ [314].

Din relaţia de mai sus rezultă că cu cît tensiunea bateriei de acumulatoare este mai mare, cu atît se reduce timpul de măsurare.

Tot pentru scurtarea timpului de stabilizare a indicaţiilor aparatelor, se recomandă utilizarea unui curent cu cel mult 20% mai mare decît curentul de magnetizare, nedepăşind totuşi 0,1 I_N pentru a nu încălzi înfăşurarea respectivă.

Rezistenţele se determină cu relaţia $R = \frac{U}{I}$, unde U şi I sînt tensiunea, respectiv curentul, citite după stabilizarea aparatelor.

Dacă voltmetrul are o rezistenţă interioară mică (situaţie nerecomandată), atunci valoarea măsurată trebuie corectată pentru a nu lua în considerare şi consumul acestuia. În acest caz formula utilizată va fi :

$$R = \frac{U}{I - \frac{U}{r_v}}\ [\Omega]$$

unde U este tensiunea măsurată [V] ; I — curentul în circuit [A] ; r_v — rezistenţa voltmetrului [Ω].

Aparatele de măsurat vor fi de clasă de precizie 0,1—0,2. Voltmetrul nu va fi conectat decît după stabilizarea curentului şi va fi decuplat înaintea deconectării bateriei de acumulatoare. Cablurile utilizate la conectarea voltmetrului vor trebui să aibă o rezistenţă practic neglijabilă. Conectarea lor se face astfel încît voltmetrul să nu măsoare şi căderea de tensiune în contactele dintre bornele înfăşurărilor şi circuitul de curent. Citirile se vor face simultan la ampermetru şi voltmetru, numai după stabilizarea indicaţiilor aparatelor.

3.3.6.2. **Metoda punții Wheatstone sau Thompson.** La înfășurările care au o rezistență mică, este de preferat utilizarea punții Thompson în locul punții Wheatstone.

Valorile măsurate prin oricare din metodele prezentate anterior (§ 3.3.6.1. și §3.3.6.2) nu trebuie să difere unele față de altele sau față de valorile din buletinul de fabrică, cu mai mult de 2%, pe aceeași priză a comutatorului de ploturi.

3.3.7. *Verificarea grupei de conexiuni*

Proba se execută la :

— PIF ;

— intervenții sau modificări ale conexiunilor sau a raportului de transformare.

Determinarea grupei de conexiuni se poate face prin mai multe metode :

3.3.7.1. **Metoda celor două voltmetre.** Se execută montajul din fig. 3.12, în care bornele $A-a$ sînt legate galvanic.

Alimentarea transformatorului se face de regulă pe partea de înaltă tensiune cu un sistem trifazat de succesiune directă (R, S, T), de maximum 3×380 V. Utilizarea unei alimentări trifazate pe partea de joasă tensiune ar ridica probleme deosebite în special de tehnica securității muncii, datorită tensiunilor mari induse în primar.

Cu ajutorul voltmetrului V, se măsoară succesiv tensiunile U_{bB}, U_{bC}, U_{cB} și U_{cC}, între bornele $b-B$; $b-C$; $c-B$ și $c-C$.

Valorile măsurate se compară cu cele calculate cu formulele din tabelul 3.16, pentru grupa de conexiuni estimată (citită pe plăcuța de date a transformatorului).

În aceste formule, U reprezintă tensiunea între fazele sursei de alimentare, iar K — raportul de transformare al transformatorului.

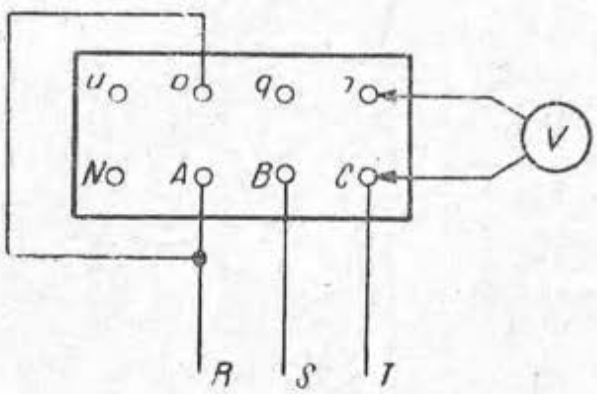


Fig. 3.12.

Tabelul 3.16

Grupa de conexiune	Decalajul tensiunilor	Conexiunile posibile	U_{b-B}	U_{b-C}	U_{c-B}	U_{c-C}
1	2	3	4	5	6	7
12	0°	Yy-12 Dd-12 Dz-12	$U(K-1)$	$U\sqrt{1-K+K^2}$	$U\sqrt{1-K+K^2}$	$U(K-1)$
1	30°	Yd-1 Dy-1 Yz-1	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1+K}$	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$
2	60°	Yy-2 Dd-2 Dz-2	$U\sqrt{1-K+K^2}$	$U(K-1)$	$U\sqrt{1+K+K^2}$	$U\sqrt{1-K+K^2}$
3	90°	Yd-3 Dy-3 Dz-3	$U\sqrt{1+K^2}$	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1+K^2}$
4	120°	Yy-4 Dd-4 Dz-4	$U\sqrt{1+K+K^2}$	$U\sqrt{1-K+K^2}$	$U(1+K)$	$U\sqrt{1+K+K^2}$
5	150°	Yd-5 Dy-5 Yz-5	$U\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1+K^2}$	$U\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$

1	2	3	4	5	6	7
6	180°	Yy-6 Dd-6 Dz-6	$U(K+1)$	$U\sqrt{1+K+K^2}$	$U\sqrt{1+K+K^2}$	$U(K+1)$
7	210°	Yd-7 Dy-7 Yz-7	$U\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1+K^2}$	$U\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$
8	240°	Yy-8 Dd-8 Dz-8	$U\sqrt{1+K+K^2}$	$U(1+K)$	$U\sqrt{1-K+K^2}$	$U\sqrt{1+K+K^2}$
9	270°	Yd-9 Dy-9 Yz-9	$U\sqrt{1+K^2}$	$U\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1+K^2}$
10	300°	Yy-10 Dd-10 Dz-10	$U\sqrt{1-K+K^2}$	$U\sqrt{1+K+K^2}$	$U(K-1)$	$U\sqrt{1-K+K^2}$
11	330°	Yd-11 Dy-11 Yz-11	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1+K^2}$	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$

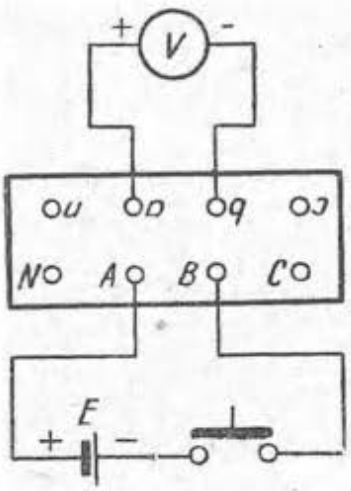


Fig. 3.13.

Dacă tensiunile măsurate corespund valorilor calculate, rezultă că grupa de conexiuni indicată pe plăcuța transformatorului este adevărată.

Verificarea grupei de conexiuni la transformatoarele cu trei înfășurări se face în mod asemănător, fiind suficientă verificarea grupei de conexiuni numai între înfășurarea de ÎT—JT și între ÎT—MT.

3.3.7.2. **Metoda curentului continuu.** Metoda se bazează pe stabilirea sensului tensiunii electromotoare induse în una din înfășurări, ca urmare a conectării unei surse de curent continuu în cealaltă înfășurare (fig. 3.13).

De regulă sursa de curent continuu se conectează pe partea de înaltă tensiune, iar aparatul de măsurat, pe partea de joasă tensiune.

Sursa de curent continuu este o baterie de acumulatoare, iar aparatul de măsurat, un voltmetru magnetoelectric, de preferință cu zero la mijlocul scalei.

Sînt necesare cîte trei măsurări la bornele de joasă tensiune (*ab, bc, ca*), pentru fiecare mod de conectare (*AB ; BC ; CA*) a sursei la bornele de înaltă tensiune.

În momentul *conectării* sursei, se citește deviația acului voltmetrului. Dacă acul deviază spre dreapta, deviația se consideră pozitivă (+), iar dacă acul deviază spre stînga, deviația se consideră negativă (—).

Rezultatele celor 9 măsurări se compară cu cele indicate pentru grupa de conexiune respectivă, în tabelul 3.17.

Dacă ele coincid, transformatorul are grupa de conexiune indicată pe plăcuță. În tabelul 3.17, col. 1, prima literă a bornelor primare indică borna la care se leagă plusul bateriei. În același tabel, prima literă a bornelor de J.T. indică borna la care se leagă plusul voltmetrului. Respectarea polarităților de conectare a sursei și a voltmetrului este absolut necesară, deoarece în caz contrar se obțin rezultate eronate.

3.3.7.3. **Metoda cosfimetrului.** Pentru măsurarea defazajului dintre tensiunea primară și cea secundară se poate utiliza un cosfimetru monofazat cu patru cadrane.

Tabelul 3.17

Bornele de înaltă tensiune la care se racordează bateria	Semnele deviației voltmetrului legat la bornele de JT								
	ab	*bc*	*ca*	*ab*	*bc*	*ca*	*ab*	*bc*	*ca*
	Grupa 12			Grupa 4			Grupa 8		
AB	+	−	−	−	−	+	−	+	−
BC	−	+	−	+	−	−	−	−	+
CA	−	−	+	−	+	−	+	−	−
	Grupa 6			Grupa 10			Grupa 2		
AB	−	+	+	+	+	−	+	−	+
BC	+	−	+	−	+	+	+	+	−
CA	+	+	−	+	−	+	−	+	+
	Grupa 11			Grupa 3			Grupa 7		
AB	+	0	−	0	−	+	−	+	0
BC	−	+	0	+	0	−	0	−	+
CA	0	−	+	−	+	0	+	0	−
	Grupa1			Grupa 5			Grupa 9		
AB	+	−	0	−	0	+	0	+	−
BC	0	+	−	+	−	0	−	0	+
CA	−	0	+	0	+	−	+	−	0

În acest caz, la două din bornele de înaltă tensiune ale transformatorului se aplică o tensiune redusă care va alimenta și bornele de tensiune ale cosfimetrului, prin intermediul unui reostat R_1 (fig. 3.14). La bornele omologe de joasă tensiune ale transformatorului, se culege un curent care va alimenta, prin intermediul unui reostat R_2, înfășurarea de curent a cosfimetrului. Decalajul măsurat, împărțit la 30°, indică grupa de conexiune.

Metoda se aplică în general la transformatoarele mici, cu raport de transformare redus.

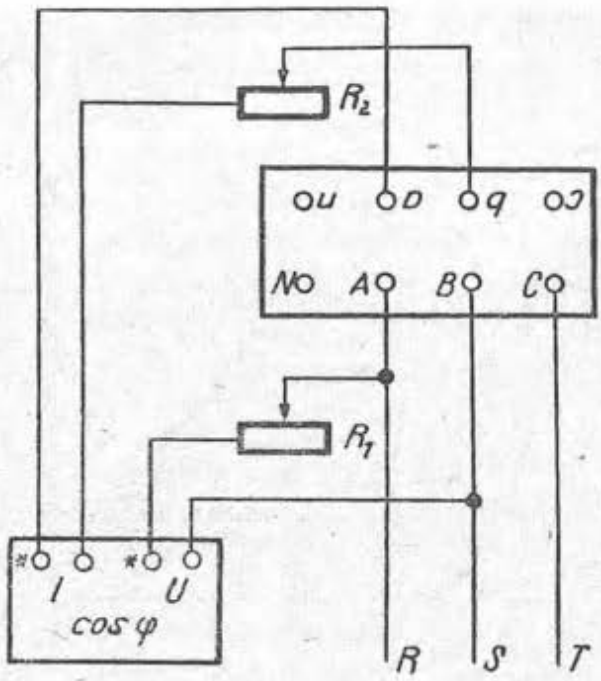


Fig. 3.14.

3.3.8. *Verificarea raportului de transformare*

Proba se execută cu aceeaşi periodicitate ca la măsurarea grupei de conexiuni.

Ca şi în cazurile precedente, pentru efectuarea măsurărilor pot fi utilizate mai multe metode :

3.3.8.1. **Metoda celor două voltmetre.** Metoda celor două voltmetre poate fi folosită în două variante :

a) cu alimentare trifazată ;

b) cu alimentare monofazată.

a) Proba se execută alimentînd transformatorul cu o tensiune trifazată de succesiune directă pe una din înfăşurări. Se măsoară succesiv tensiunile între faze, atît pe partea sursei, cît şi tensiunile induse în celelalte înfăşurări.

Aparatele de măsurat utilizate vor fi de clasă cel puţin 0,2. Tensiunea de alimentare trebuie să fie aproximativ 1—2% din tensiunea nominală a înfăşurării alimentate.

În cazul transformatoarelor ce au înfăşurarea de înaltă tensiune de 20—35 kV, pentru a respecta condiţia de mai sus, este suficient să alimentăm transformatorul pe această înfăşurare cu o tensiune trifazată 3 × 380/220 V (fig. 3.15, *a*).

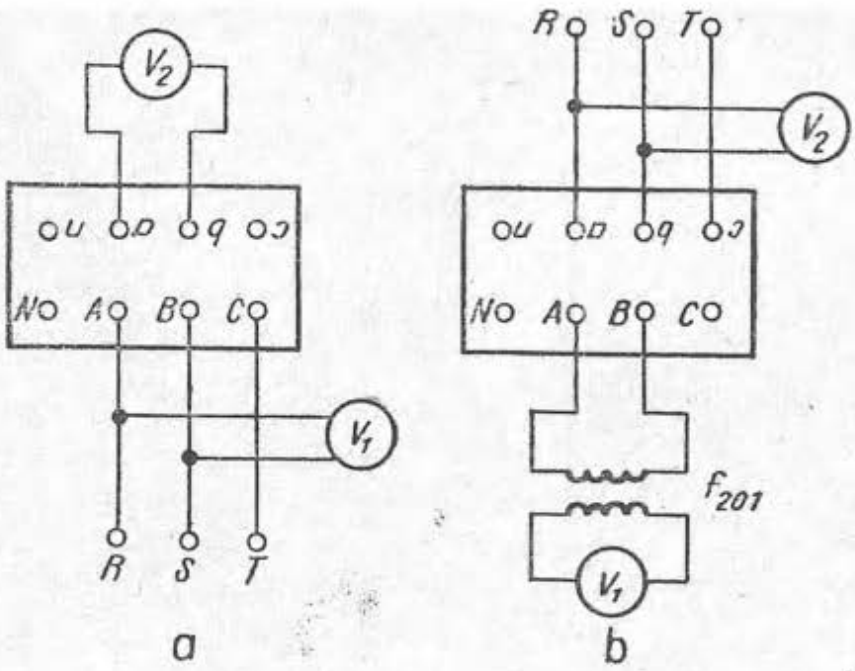


Fig. 3.15

În cazul transformatoarelor ce au înfășurarea de înaltă tensiune de 110 kV sau mai mult și înfășurarea de joasă tensiune de 6—35 kV, pentru a respecta condiția de mai sus, alimentarea acestuia se va face pe partea de joasă tensiune, tot cu o tensiune trifazată de 3 × 380/220 V. În acest caz, valorile tensiunilor induse în primar fiind ridicate, vor trebui însă luate severe măsuri de protecția muncii. Voltmetrul V_1 trebuie să fie conectat printr-un transformator de tensiune etalon f_{201} (fig. 3.15, *b*). Conectarea și deconectarea transformatorului f_{201} se face numai cînd alimentarea bornelor de joasă tensiune este întreruptă.

În timpul probelor, este interzisă apropierea la mai puțin de 2 m de bornele primare ale transformatorului de putere sau de tensiune, precum și de conductoarele ce alimentează primarul lui f_{201}. Aceste conductoare nu trebuie să se atingă între ele sau să atingă cuva transformatorului de putere.

În situația cînd nu se cere o precizie prea mare a măsurărilor, pentru a micșora riscul unor eventuale accidente, se preferă utilizarea alimentării trifazate, 3 × 380/220 V pe partea de înaltă tensiune, chiar și la transformatoarele cu $U_N \geqslant 110$ kV.

Măsurările se vor executa pe fiecare priză a comutatorului de ploturi, obținîndu-se în acest mod cîte trei valori ale raportului de transformare :

$$K_1 = \frac{U_{AB}}{U_{ab}} \quad K_2 = \frac{U_{BC}}{U_{bc}} \quad K_3 = \frac{U_{CA}}{U_{ca}}$$

În cazul transformatoarelor cu reglaj sub sarcină, diferențele admisibile dintre K_1, K_2 și K_3 nu trebuie să depășească valoarea procentuală a unei trepte de reglaj a comutatorului de ploturi.

La transformatoarele fără reglaj sau cu reglaj fără tensiune, aceste diferențe nu trebuie să depășească 2%.

Pentru reducerea erorilor este recomandat ca :

— voltmetrele utilizate să aibă o rezistență interioară cît mai mare ;

— cordoanele de legătură ale acestora să fie cît mai scurte ;

— tensiunea de alimentare să nu prezinte fluctuații ;

— aparatele de măsurat utilizate să fie astfel alese, încît citirile să se facă în ultima treime a scalei.

b) În situația cînd nu se dispune de o tensiune trifazată sau aceasta nu este simetrică, raportul de transformare se poate măsura aplicînd uneia din înfășurări o tensiune monofazată.

Pentru aceasta, în cazul unei conexiuni Yy sau Yz se scurtcircuitează o fază a primarului sau secundarului. Tensiunea monofazată de încercare se aplică în primarul sau secundarul transformatorului pe bornele omoloage rămase libere. Măsurările se efectuează prin metoda celor două voltmetre, între aceleași borne.

În cazul unei conexiuni Dy sau Yd se scurtcircuitează o fază a înfășurării în triunghi. Tensiunea monofazată se aplică între fazele rămase libere din primarul sau secundarul transformatorului, măsurările executîndu-se tot între aceste faze.

Pe fiecare priză a comutatorului de ploturi se vor executa deci cîte trei măsurări, ca urmare a scurtcircuitării succesive a cîte unei faze.

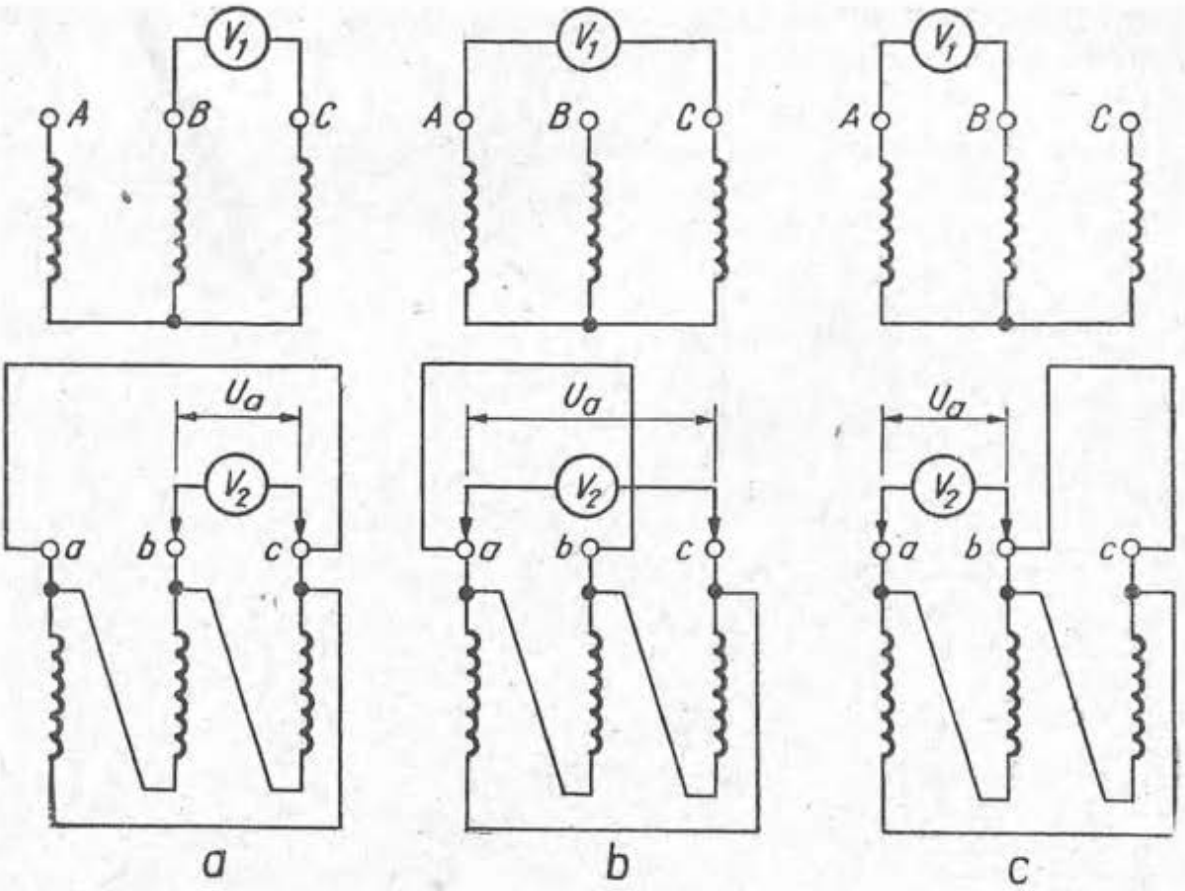


Fig. 3.16.

În fig. 3.16, *a*, *b*, *c*, se prezintă modul de executare a conexiunilor la scurtcircuitarea fazelor înfășurării în triunghi, la un transformator Yd-11.

Alimentarea înfășurărilor (tensiunea U_a) s-a făcut pe partea de J.T., dar la fel de bine se putea face pe bornele omologe de Î.T.

La alimentarea monofazată a înfășurărilor, raportul de transformare va fi :

$K = \frac{U_1}{U_2}$, pentru conexiunile Yy și Yz ;

$K = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{U_1}{U_2}$, pentru conexiunile Yd

$K = \frac{2}{\sqrt{3}} \times \frac{U_1}{U_2}$, pentru conexiunile Dy.

Tensiunile U_1 și U_2 sînt tensiunile măsurate pe înfășurarea de înaltă, respectiv joasă tensiune, la bornele rămase libere.

3.3.8.2. **Metoda compensării.** Această metodă presupune utilizarea unor punți speciale, construite pe principiul compensării. O astfel de punte este puntea WMÜT, de producție R.D.G. Ea permite măsurarea grupei de conexiuni și a raportului de transformare cu o mare precizie. Prin această metodă, eroarea față de valorile măsurate în fabrică nu trebuie să depășească 0,5%.

3.3.9. *Determinarea curentului și a pierderilor de mers în gol*

Proba se execută cu ocazia :

— PIF, în situația cînd lipsesc buletinele de fabrică ;

— înlocuirii parțiale sau totale a înfășurărilor ;

— intervențiilor asupra miezului magnetic.

Proba se efectuează înainte și după încercarea cu tensiune mărită (de regulă la transformatoarele cu $S_N \geqslant 10$ MVA și $U_N \geqslant 110$ kV).

Practic, verificarea constă în alimentarea unei înfășurări cu un sistem trifazat simetric de tensiuni, celelalte înfășurări fiind lăsate în gol.

Puterea și implicit curentul absorbit de înfășurare reprezintă puterea și curentul de mers în gol al transformatorului, pentru tensiunea de alimentare dată.

Curentul și pierderile de mers în gol pot fi determinate la tensiunea nominală sau la o tensiune redusă (cîteva procente din U_N).

3.3.9.1. **Măsurarea pierderilor și a curentului de mers în gol, la tensiunea nominală.** În acest caz transformatorul se alimentează de regulă pe partea de joasă tensiune, cu un sistem trifazat simetric de tensiuni, la valoarea nominală (fig. 3.17).

În fig. 3.17, varianta *a* reprezintă schema de măsurare cu 2 wattmetre, iar varianta *b* schema de măsurare cu 3 wattmetre, a pierderilor de mers în gol.

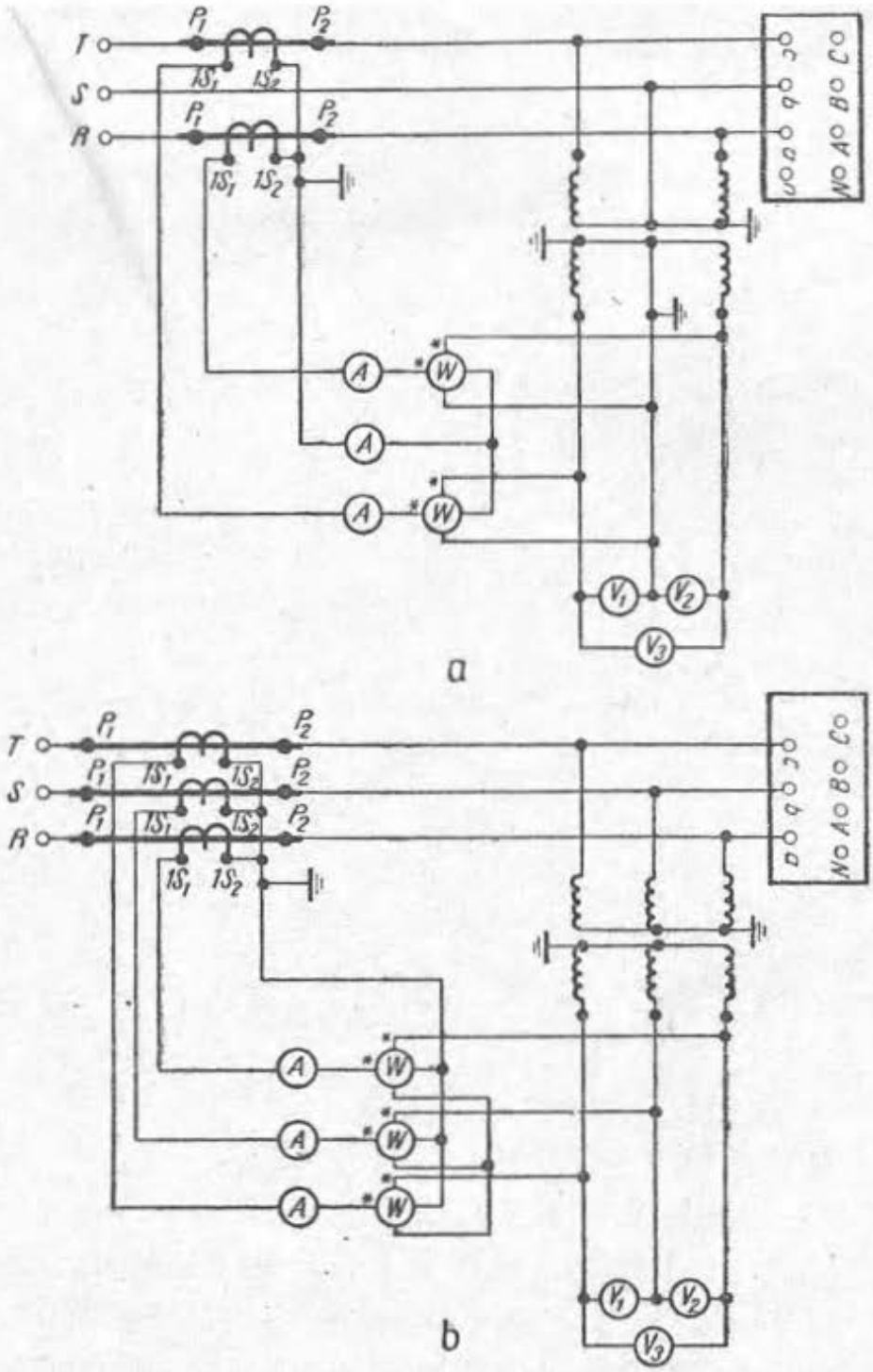


Fig. 3.17.

Pentru corectitudinea măsurărilor este absolut necesar să se respecte polaritățile indicate în figură.

În cazul utilizării schemei cu 2 wattmetre, puterea măsurată va fi:

$$P = K_W(\alpha_1 \pm \alpha_2)$$

În cazul utilizării schemei cu trei wattmetre, puterea măsurată va fi :

$$P = K_W(\alpha_1 \pm \alpha_2 \pm \alpha_3)$$

în care α_1, α_2, α_3 reprezintă numărul de diviziuni indicate pe scala wattmetrelor ; K_W — constanta wattmetrului, dată de relația

$$K_W = K_C \cdot K_U \cdot \frac{U_N I_N \cos \varphi}{\alpha} \quad [\text{W/div.}]$$

În relația constantei wattmetrului K_C, K_U reprezintă rapoartele de transformare ale transformatoarelor de curent și tensiune ; U_N, I_N — tensiunea [V] și curentul [A] nominal al wattmetrului ; cos φ — factorul de putere pentru care este construit wattmetrul ; α — numărul maxim de diviziuni ale scalei.

În formula puterii, semnul minus indică faptul că pot apărea indicații negative ale wattmetrelor. Puterea rezultantă se obține deci ca sumă algebrică a celor trei indicații ale wattmetrelor.

Curentul de mers în gol I_0 va fi dat de media aritmetică a curenților măsurați pe cele trei faze [I_{0A}, I_{0B}, I_{0C}] :

$$I_0 = \frac{I_{0A} + I_{0B} + I_{0C}}{3} \quad [\text{A}]$$

El se exprimă în procente din curentul nominal al înfășurării alimentate. În acest caz : $i_0[\%] = \frac{I_0}{I_N}$.

La transformatoarele cu trei înfășurări, curentul de mers în gol se exprimă în procente din curentul înfășurării alimentate, raportat la puterea nominală a transformatorului.

Valorile obținute nu trebuie să difere față de cele din buletinul de fabrică, cu mai mult de 5% la pierderi și 10% la curentul de mers în gol, în condițiile utilizării unor aparate de măsurat și transformatoare de curent și tensiune de clasă de precizie 0,2.

Pentru precizia măsurărilor, se recomandă ca wattmetrele să aibă cos φ mic (0,1 cel mult 0,5).

3.3.9.2. **Măsurarea pierderilor şi a curentului de mers în gol, la tensiune redusă.** Proba se execută cu o tensiune redusă, circa $1 \div 10\%$ din tensiunea nominală a înfăşurării alimentate. Montajul utilizat este cel prezentat în fig. 3.18.

Pentru pierderile de mers în gol valorile obţinute, nu trebuie să difere de valorile de la PIF sau de cele din buletinul de fabrică (dacă proba s-a efectuat şi în acest mod) cu mai mult de :

— 5% pentru transformatoarele trifazate cu miez cu 3 coloane ;

— 10% pentru transformatoarele trifazate cu miez cu 5 coloane.

Valorile măsurate pentru curentul de mers în gol trebuie să fie comparabile cu cele iniţiale.

Dacă se doreşte raportarea pierderilor măsurate cu tensiune redusă, la tensiunea nominală a înfăşurării, se utilizează formula :

$$P_{0r} = \left(P_0 \cdot \frac{U_N}{U_a}\right)^n,$$

unde P_{0r} — pierderile de mers în gol raportate ; U_a — tensiunea la care se efectuează măsurătoarea [kV] ; U_N — tensiunea nominală a înfăşurării [kV] ; P_0 — pierderile măsurate la tensiunea U_a ; n — factor ce depinde de marca oţelului din care sînt confecţionate tolele.

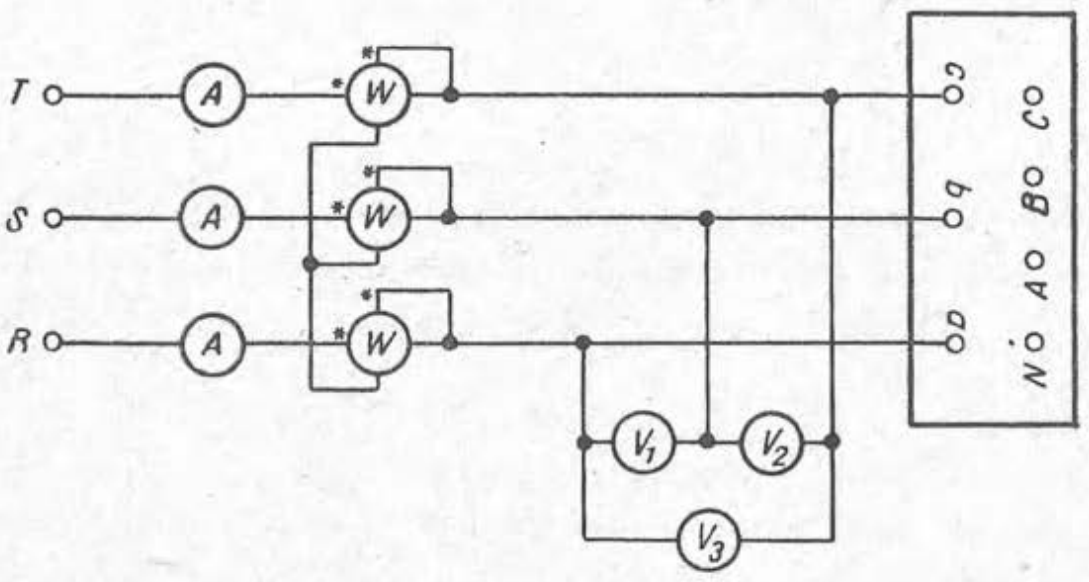


Fig. 3.18.

În cazul cînd U_a este 5...10% U_N, atunci :

$n = 1{,}8$ pentru tablă silicioasă laminată la cald ;

$n = 1{,}9$ pentru tablă cu cristale orientate laminate la rece.

În cazul cînd U_a este sub 5% U_N,

$$n = \frac{\log \frac{P_{0N}}{P_0}}{\log \frac{U_N}{U_a}},$$

unde P_{0N} reprezintă pierderile în gol, corespunzătoare condiţiilor nominale, conform încercărilor efectuate în fabrica constructoare.

3.3.10. *Măsurarea tensiunii şi a pierderilor de scurtcircuit la sarcină nominală sau redusă*

Tensiunea de scurtcircuit este tensiunea care trebuie aplicată uneia din înfăşurările transformatorului astfel încît în aceasta curentul să aibă valoarea nominală, în condiţiile în care cealaltă înfăşurare este legată în scurtcircuit. Tensiunea de scurtcircuit se exprimă în procente din tensiunea nominală.

În timpul probelor transformatorul trebuie să fie conectat pe priza corespunzătoare raportului de transformare nominal.

Proba se execută cu ocazia :

— PIF, dacă lipsesc buletinele de fabrică ;

— intervenţiilor la miezul magnetic ;

— demontării şi reparării izolaţiei principale a înfăşurărilor etc.

Pentru măsurarea tensiunii şi a pierderilor de scurtcircuit se utilizează aceleaşi montaje ca în fig. 3.17, cu deosebire că bornele înfăşurării rămase libere se scurtcircuitează cu cordoane cît mai scurte şi de seţiune aproximativ egală cu aceea a bornelor la care sînt racordate.

La transformatoarele cu 3 înfăşurări sau la autotransformatoarele cu terţiar, pierderile se măsoară între înfăşurările : ÎT—JT ; MT—JT ; MT—ÎT.

Aparatele folosite trebuie să aibă cel puţin clasa de precizie 0,5, iar transformatoarele de măsurat, clasa 0,2.

Tensiunea de scurtcircuit se calculează cu formula :

$$U_K = \frac{U}{U_N} \cdot 100,$$

în care U reprezintă tensiunea măsurată în momentul cînd curentul a atins valoarea nominală.

Încercarea se execută de obicei la curentul nominal I_N, dar se pot executa măsurări şi la curenţi de valori mai mici.

În cazul folosirii unor curenţi mai reduşi ca 0,25 I_N, schema de măsurare poate fi cea din fig. 3.18, avîndu-se în vedere să fie scurtcircuitate şi de astă dată bornele primare.

În aceste situaţii valorile puterii şi ale tensiunilor de scurtcircuit trebuie recalculate, pentru a putea fi comparate cu cele măsurate la curentul nominal. În acest scop se vor utiliza formulele :

$$P_K = P'_K \left(\frac{I_N}{I'}\right)^2,$$

pentru recalcularea puterii de scurtcircuit, în care I' reprezintă curentul la care se efectuează încercarea ; I_N reprezintă curentul nominal al înfăşurării ; P'_K este puterea măsurată la curentul I'.

$$U_K = \frac{U'}{U_N} \cdot \frac{I_N}{I'} \cdot 100,$$

pentru recalcularea tensiunii de scurtcircuit, în care U' reprezintă tensiunea măsurată la curentul I'.

Măsurările trebuie executate la o temperatură apropiată de cea din buletinul de fabrică.

În caz că în buletinul de fabrică sînt date valorile tensiunii şi ale pierderilor de scurtcircuit la temperaturile standard (75° sau 115°), atunci valorile măsurate se recalculează la aceste temperaturi, conform [22 ; 24].

Valorile obținute nu trebuie să difere pentru tensiunea de scurtcircuit cu mai mult de :

— 0,01 U_{KN}, pentru transformatoarele cu $S_N \leqslant 6{,}3$ MVA și $U_N \leqslant 35$ kV ;

— 0,02 U_{KN}, pentru transformatoarele cu $S_N \geqslant 10$ MVA și $U_N \geqslant 110$ kV.

La rîndul lor, pierderile în scurtcircuit măsurate nu trebuie să difere cu mai mult de 0,05 P_{KN}. U_{KN} și P_{KN} sînt tensiunea și pierderile de scurtcircuit nominale.

3.3.11. *Verificarea rigidității dielectrice cu tensiune aplicată sau monofazată indusă*

Proba se execută cu ocazia :

— PIF, cu mențiunea că :

a) la transformatoarele cu $U_N \geqslant 60$ kV se vor lua în considerație valorile înscrise în buletinul de fabrică sau cele obținute în laboratoare de înaltă tensiune specializate ;

b) la transformatoarele cu $U_N \leqslant 35$ kV în lipsa buletinului de fabrică, proba se execută în mod obligatoriu ;

— înlocuirii izolației sau înfășurărilor ;

— modificării prin decuvare a conexiunilor transformatoarelor cu $U_N \leqslant 20$ kV.

Proba se execută numai cu transformatorul complet montat și umplut cu ulei, așezat în poziție normală de funcționare.

Comutatorul de ploturi trebuie să se găsească pe priza corespunzătoare raportului de transformare nominal.

Încercarea poate fi efectuată numai dacă rezultatele de la probele 3.3.1 ; 3.3.2 ; 3.3.3 și 3.3.4 au fost satisfăcătoare.

3.3.11.1. **Încercarea izolației cu tensiune aplicată.** Proba se execută numai asupra acelor transformatoare care au izolație plină (neutrul are aceeași izolație ca fazele). În țara noastră din această categorie fac în general parte transformatoarele cu $U_N \leqslant 20$ kV.

Proba se efectuează cu ajutorul montajului din fig. 3.19. Tensiunea de încercare se aplică fiecărei înfășurări a transformatorului, față de celelalte legate la cuvă și pămînt.

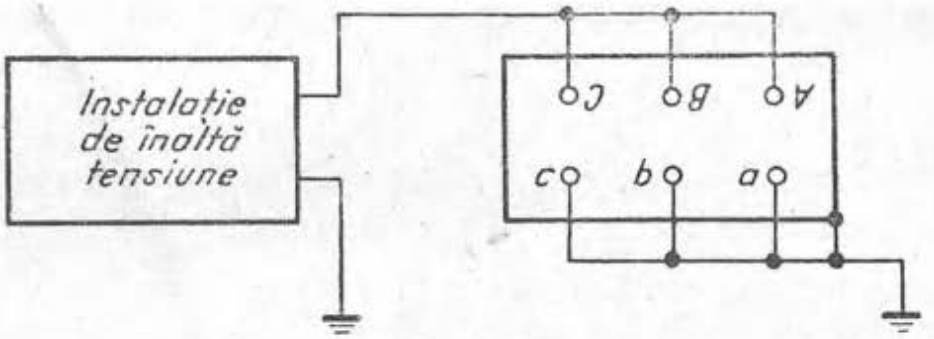


Fig. 3.19.

Proba începe aplicînd inițial o tensiune de cel mult 50% din valoarea de încercare. Se crește tensiunea continuu sau gradat, în trepte de maxim 5%, în cel puțin 10 s și cel mult 30 s, pînă la valoarea prescrisă. Ea este menținută apoi constantă timp de 1 minut, după care se revine treptat la zero.

Transformatorul se consideră corespunzător din punct de vedere al acestei probe, dacă în timpul ei nu s-au produs străpungeri sau conturnări ale izolației, observabile vizual, auditiv sau din indicațiile diverselor aparate cu care este dotată instalația de încercare.

Tensiunea de încercare poate avea următoarele valori, față de tensiunea de încercare din fabrică, U_{if}:

— $U_{inc} = 0{,}75\ U_{if}$, pentru transformatoarele noi sau reparate, la care nu s-a înlocuit izolația principală;

— $U_{inc} = 0{,}85\ U_{if}$, pentru transformatoarele la care s-a înlocuit parțial bobinajul sau izolația principală;

— $U_{inc} = U_{if}$, la transformatoarele la care s-au efectuat înlocuiri totale ale bobinajelor sau izolației principale.

În cazul în care lipsesc valorile pentru U_{if}, vor fi luate în considerare valorile indicate în tabelele 3.2 și 3.3.

După efectuarea probei se execută din nou măsurarea pierderilor și a curentului de mers în gol, precum și măsurarea R_{60} și a R_{60}/R_{15}.

3.3.11.2. **Încercarea cu tensiune indusă monofazată.** Această probă se aplică acelor transformatoare care au izolație degresivă (la noi în țară, de regulă cele cu tensiuni $\geqslant$ 110 kV).

În aceste cazuri tensiunea de încercare a neutrului diferă de cea a fazei, fapt pentru care este indicată utilizarea tensiunilor de încercare induse.

Întrucît încercarea cu tensiune indusă monofazată prezintă anumite particularități, iar pentru transformatoarele cu tensiuni $\geqslant$ 60 kV sînt valabile buletinele de încercare ale fabricilor constructoare sau laboratoarelor de înaltă tensiune specializate, modul de efectuare a acestei încercări nu va fi tratat în cadrul lucrării.

3.3.12. *Încercarea izolației cu tensiune mărită indusă trifazată de 50 Hz*

Proba permite verificarea rigidității dielectrice a izolație între diversele elemente ale înfășurărilor, ca și între spire. Ea se execută atît la transformatoarele cu izolație plină, cît și la cele cu izolație degresivă.

Transformatoarele trebuie să fie complet montate și umplute cu ulei.

Proba se efectuează cu ocazia :

— PIF ;

— reparațiilor sau înlocuirilor executate la înfășurări ;

— modificării conexiunilor (transformatoare cu $U_N \leqslant$ $\leqslant$ 20 kV).

Transformatorului încercat (*TÎ*, fig. 3.20) i se aplică pe înfășurarea de joasă tensiune, o tensiune trifazată de succesiune

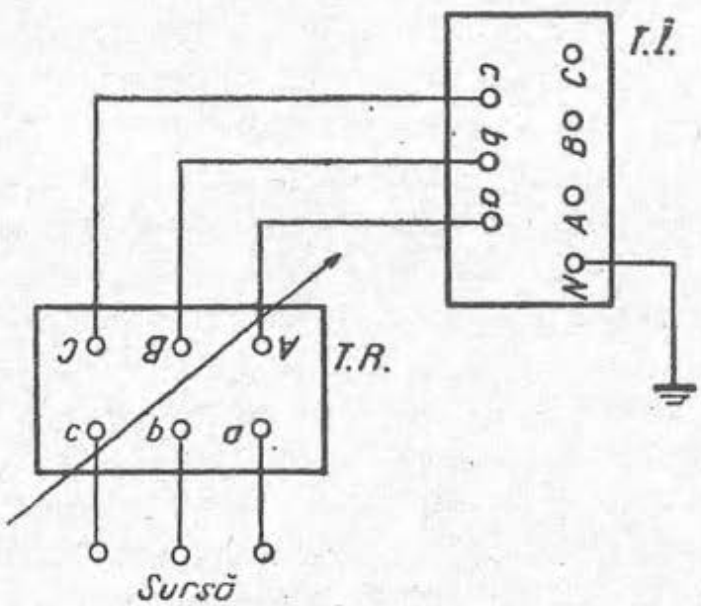


Fig. 3.20.

directă obținută de la un transformator ridicător TR, căruia i se poate varia raportul de transformare, astfel încît în primarul transformatorului $TÎ$ să se obțină valorile necesare probei.

Pentru efectuarea încercării se aplică maximum 25% din valoarea tensiunii de încercare. Apoi tensiunea se crește treptat pînă la valoarea prescrisă. Ea va fi menținută constantă la această valoare timp de 1 minut, interval în care nu trebuie să apară nici unul din fenomenele menționate la paragrafele anterioare, referitoare la încercarea cu tensiune mărită.

Se reduce apoi treptat tensiunea pînă la 25% din valoarea de încercare, în cel mult 5 s, după care se deconectează transformatorul TR.

În general tensiunile induse aplicate trebuie să fie în concordanță cu indicațiile fabricii constructoare. În lipsa lor, conform [5] aceste tensiuni vor fi :

— 1,15 U_N, la transformatoarele la care se utilizează buloane la strîngerea și presarea miezului magnetic ;

— 1,2 ÷ 1,3 U_N, la celelalte transformatoare.

După efectuarea încercării, se va executa din nou măsurarea raportului de transformare, a pierderilor și curentului de mers în gol, precum și a lui R_{60}.

3.3.13. *Încercarea etanșeității cuvei la scurgeri de ulei*

Proba se execută la :

— PIF ;

— decuvări ;

— ori de cîte ori sînt înlocuite anumite elemente ce aparțin cuvei și care pot genera apariția unor scurgeri de ulei.

Pentru a verifica etanșeitatea transformatoarelor care au fost umplute cu ulei, se creează o suprapresiune în interiorul transformatorului [24] prin :

— coloană de ulei ;

— aer comprimat sau gaz inert introdus sub capacul transformatorului.

Dacă transformatorul nu are ulei, se creează în cuvă o suprapresiune de aer uscat sau gaz inert.

În cazul transformatoarelor umplute cu ulei, suprapresiunea se creează prin racordarea etanşă la conservator sau la capac (cînd transformatoarele nu au conservator) a unei ţevi închise ermetic şi umplute cu ulei, pînă la înălţimea necesară.

Verificarea durează minimum 5 ore, temperatura uleiului fiind mai mare de 10°C. În timpul probei, orificiile de aerisire ale transformatorului trebuie să fie închise.

Înălţimea coloanei de ulei va fi :

— 0,6 m, pentru cuve netede sau cu ţevi, măsurată deasupra nivelului uleiului din conservator sau cuvă (dacă transformatorul nu are conservator).

— 0,3 m, pentru cuve ondulate sau cu radiatoare din tablă ambutisată, măsurată în aceleaşi condiţii.

Cuva este considerată corespunzătoare din punct de vedere al acestei probe, dacă în timpul menţionat nu apar scurgeri pe la garnituri, vane, robinete sau locuri de îmbinare.

3.3.14. *Încercarea etanşeităţii la vacuum*

Proba se execută :

— la PIF ;

— după o decuvare sau înlocuire a uleiului.

Pentru efectuarea probei se utilizează o pompă care trebuie să creeze vacuum în cuva transformatorului, pînă la valoarea indicată de fabrica constructoare.

După crearea vcuumului, transformatorul se închide ermetic. Presiunea în transformator nu trebuie să crească după o oră de la începerea probei, cu mai mult de 15 mm Hg.

Încercarea se execută la transformatoarele cu tensiuni nominale mai mari de 110 kV, la care umplerea sau completarea cu ulei se face sub vacuum şi cuvele sînt dimensionate pentru a rezista la vacuum.

În timpul probei, conservatorul trebuie izolat de cuvă, întrucît el nu rezistă la vacuum şi s-ar putea deteriora.

3.3.15. *Verificarea înclinării capacului și a conductelor de legătură între transformator și conservator*

Proba se execută la :

— PIF ;

— demontarea și remontarea conductelor ;

— înlocuirea releelor de gaze Bucholtz, etc.

Transformatorul trebuie să fie astfel montat încît capacul său să aibă o înclinare de 1—2% în direcția releului de gaze. De regulă această înclinare se realizează în cadrul operațiilor de montaj, prin introducerea sub perechea de roți din dreptul conservatorului, a unor bucăți de metal (fig. 3.21).

Considerînd că șinele transformatorului sînt orizontale (orizontalitatea se verifică cu ajutorul nivelmetrului cu bulă), grosimea plăcuțelor de metal g, trebuie să fie :

$$g = (0{,}017 \div 0{,}035)l \quad [\text{cm}],$$

unde l este distanța în cm dintre cele două perechi de roți. Conductele de legătură ale releelor de gaze trebuie să aibă, la rîndul lor, o înclinare de 2—4% în direcția conservatorului.

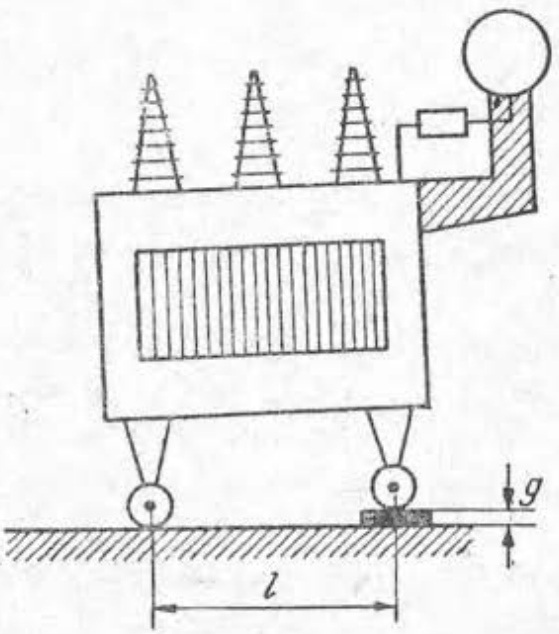


Fig. 3.21.

3.3.16. *Verificarea traductoarelor de temperatură, de nivel ulei, a releelor de gaze, precum şi a circuitelor aferente acestora*

Proba se execută cu ocazia :

— PIF ;

— reviziilor tehnice sau capitale.

În mod curent, verificarea acestor aparate constă în măsurarea rezistenţei de izolaţie şi verificarea funcţionării corecte.

3.3.16.1. **Măsurarea rezistenţei de izolaţie.** Rezistenţa de izolaţie măsurată pe fiecare circuit aferent sau între diverse părţi componente ale aparatelor de mai sus trebuie să fie de minim 2 MΩ , la 20°C.

Pentru efectuarea măsurărilor se utilizează megohmmetre de 500 V sau 1 000 V.

3.3.16.2. **Verificarea funcţionării corecte**

a) *Verificarea funcţionării traductoarelor de temperatură.* Se verifică mai întîi dacă traductoarele (termometrele) sînt montate corect. Se urmăreşte apoi dacă temperatura măsurată este direct corelată cu starea transformatorului şi cu condiţiile atmosferice.

La termometrele cu contacte auxiliare, se verifică corecta închidere a acestora, prin acţionarea butoanelor de reglaj.

b) *Verificarea indicatorului de nivel ulei.* După verificarea integrităţii şi a corectei montări, se urmăreşte dacă există o corelaţie strînsă între nivelul uleiului din conservator şi indicaţiile de pe cadranul indicatorului de nivel. Se urmăreşte de asemenea şi corecta închidere a contactelor de semnalizare, prin acţionarea cu mîna a discului indicator.

c) *Verificarea releelor de gaze.* Se verifică dacă releul de gaze este intact şi dacă este montat corect, cu săgeata care indică sensul de scurgere a gazelor către conservator.

Se procedează apoi la controlul aerisirii releului, prin deschiderea robinetului de aerisire. Dacă se aude un zgomot caracteristic evacuării aerului, rezultă că au existat acumulări de gaze. În momentul cînd începe să curgă ulei, rezultă că gazele au fost eliminate.

Încercarea contactelor cu mercur se poate face acționînd asupra butonului de încercare de pe releu sau introducînd aer cu ajutorul unei pompe de bicicletă sau mașină pe la bușonul de aerisire al releului, pînă în momentul cînd se închid contactele. În acest al doilea caz, trebuie avut în vedere ca odată cu introducerea aerului să nu se introducă în ulei, umezeală sau chiar particule de apă.

3.3.17. *Verificarea instalației de răcire-ventilație*

Proba se execută cu ocazia :

— PIF, RT, RC_2 și RK ;

— lucrărilor ocazionate de înlocuirea unor motoare defecte aferente ventilatoarelor sau pompelor ;

— lucrărilor în circuitele secundare, care afectează partea de răcire-ventilație, etc.

Verificările încep cu măsurarea rezistenței de izolație a circuitelor, releelor, contactoarelor, motoarelor de la ventilatoare și pompe, etc. Rezistența de izolație minimă la 20°C trebuie să fie de 2 MΩ pe fiecare circuit. Se urmărește apoi funcționarea pornirii corecte a ventilatoarelor și pompelor atît manual, cît și automat, la supratemperatură. În acest al doilea caz, ventilatoarele trebuie să intre în funcțiune numai cînd se închide contactul superior al termometrului cu contacte (cel care se reglează pentru treapta a II-a de temperatură) și să se oprească numai după deschiderea contactului inferior (cel care se reglează pentru treapta I-a de temperatură).

În timpul probelor funcționale, contactoarele și releele trebuie să se închidă ferm, fără vibrații, oferind garanția unei funcționări sigure.

Se urmărește de asemenea, ca sensul de rotație al motoarelor ventilatoarelor și pompelor să fie conform săgeților indicatoare. În cazul cînd se constată sensuri contrare, se inversează între ele două din fazele de alimentare ale motorului respectiv.

3.3.18. *Verificarea transformatoarelor de curent incluse în izolatoarele transformatoarelor*

În izolatoarele bornelor transformatoarelor şi autotransformatoarelor de puteri mari (200—400 MVA) sînt incluse uneori transformatoare de curent. Verificarea acestora se face în principiu conform indicaţiilor de la § 4.2, determinîndu-se :

— polaritatea ;
— raportul de transformare ;
— rezistenţa ohmică a înfăşurărilor ;
— curba voltampermetrică ;
— rezistenţa de izolaţie a înfăşurărilor secundare.

Valorile obţinute trebuie comparate cu cele din buletinul fabricii constructoare.

Proba se execută cu ocazia PIF sau a demontării izolatoarelor sau transformatoarelor de curent incluse în aceste izolatoare. În cadrul reviziilor tehnice se verifică numai rezistenţa de izolaţie.

3.3.19. *Verificarea eclatoarelor sau descărcătoarelor cu rezistenţă variabilă incluse în construcţia transformatorului*

Modul de efectuare şi periodicitatea probelor se va face conform indicaţiilor furnizorului.

3.3.20. *Verificarea protecţiei de cuvă*

Protecţia de cuvă este utilizată pentru protejarea transformatoarelor care au cel puţin o înfăşurare conectată la o reţea cu neutrul legat direct la pămînt.

Conform [25] protecţia de cuvă poate înlocui protecţia diferenţială longitudinală a transformatoarelor cu o putere de pînă la 25 MVA inclusiv, asigurînd protecţia înfăşurării care are neutrul legat la pămînt împotriva scurtcircuitelor monofazate sau polifazate cu pămîntul.

Pentru ca această protecție să fie eficientă, este necesar ca transformatorul să aibă numai o singură legătură cu pământul. Aceasta se realizează prin introducerea unor plăcuțe izolante sub cele patru roți ale transformatorului.

Punerea la pământ a transformatorului se face printr-o platbandă pe care este montat un transformator toroidal de curent, care are rolul de a sesiza apariția curenților de defect.

În afara verificărilor funcționale, la PIF sau la reviziile tehnice se măsoară și rezistența de izolație dintre transformator și pământ. Aceasta trebuie să fie de minim 10 MΩ la 20°C, măsurată cu un inductor de 2 500 V. În timpul probei trebuie deconectată legătura dintre pământ și transformator.

3.3.21. *Verificarea comutatorului de reglaj sub sarcină*

Conform [5] la verificarea comutatorului de reglaj sub sarcină se urmărește :

a) rotirea corectă a comutatorului, precum și blocarea funcționării sale pe primul și ultimul plot ;

b) respectarea diagramei de comutare ;

c) controlul stării contactelor ;

d) controlul vizual al stării și gradului de uzură a contactelor ;

e) măsurarea rezistenței de contact și de comutare ;

f) controlul și dacă este necesar, înlocuirea uleiului din camera ruptorului ;

g) controlul dispozitivului de acționare al comutatorului, care include :

— verificarea etanșeității dulapului cu relee ;

— verificarea releelor, contactoarelor etc. ;

— verificarea rezistenței de izolație a circuitelor secundare aferente dispozitivului de acționare, cu megohmmetrul de 500 V. Comutatorul de reglaj nu va fi acționat dacă temperatura uleiului din comutator este sub —10°C sau dacă temperatura din dulapul dispozitivului de acționare este sub 0°C. Nivelul uleiului din cutia de angrenaje trebuie să corespundă indicațiilor de pe vizor.

h) Rigiditatea dielectrică a uleiului din camera ruptorului trebuie să fie de cel puțin 100 kV/cm.

Se recomandă ca de două ori pe an, să se manevreze comutatorul de cel puțin 10 ori pe toate pozițiile, pentru a curăța suprafața contactelor.

Probele menționate se efectuează astfel :

— proba a) se execută cu ocazia : PIF ; RT ; RC_2 ; RK sau a lucrărilor în circuitele secundare care afectează dispozitivul de acționare ;

— probele b), c) se execută : la RC_2 și RK cu decuvarea transformatorului, dar nu mai rar de 10 ani ;

— proba d) se execută, în exploatare, conform indicațiilor furnizorului, corelate cu numărul de acționări, dar nu mai rar de 5 ani ;

— probele e), f), g), h), se execută la : PIF ; RT ; RC_2 și RK.

3.4. Verificarea bobinelor de stingere

Verificarea bobinelor de stingere comportă în general următoarele probe :

a) *Încercarea uleiului.* Proba se execută conform celor prezentate la transformatoarele de putere.

b) *Măsurarea rezistenței de izolație.* Se măsoară rezistența de izolație între înfășurarea principală și masă, între înfășurările secundare ale transformatoarelor de măsurat și masă, precum și între ele.

c) *Încercarea izolației cu tensiune alternativă mărită aplicată.* Proba se execută ca la 3.3.11.1, cu ocazia punerilor în funcțiune sau după reparații, numai la bobinele care nu au izolație degresivă. Tensiunea de încercare se aplică între înfășurarea principală și cele auxiliare legate la cuvă și la pământ.

d) *Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurării principale.* Proba se execută conform celor prezentate la transformatoarele de putere.

e) *Verificarea funcționării corecte a dispozitivului de reglaj.* Se acționează dispozitivul de reglaj atît local, cît și de la distanță, urmărindu-se funcționarea corectă, precum și blocarea dispozitivului de acționare la ambele capete ale cursei.

f) *Verificarea etanșeității cuvei.*

g) *Verificarea înclinării conductei între bobină și conservator.*

h) *Verificarea releului de gaze.*

Probele f), g), h), se execută în același mod ca la transformatoare.

i) *Măsurarea reactanței bobinei.*

Proba se execută la :

— PIF, dacă lipsește buletinul de fabrică ;

— modificări în circuitul electric sau magnetic.

Pentru efectuarea probei se utilizează montajul din fig. 3.22.

Bobinei i se aplică o tensiune egală cu tensiunea sa nominală. Cunoscînd curentul I măsurat de ampermetrul A, impedanța bobinei este dată de relația :

$$Z_b = \frac{U_N}{I} \ [\Omega]$$

Reactanța bobinei rezultă din formula :

$$X = \sqrt{Z_b^2 - R^2} \quad [\Omega]$$

Aceste formule sînt valabile în condițiile în care U_N este o tensiune practic sinusoidală.

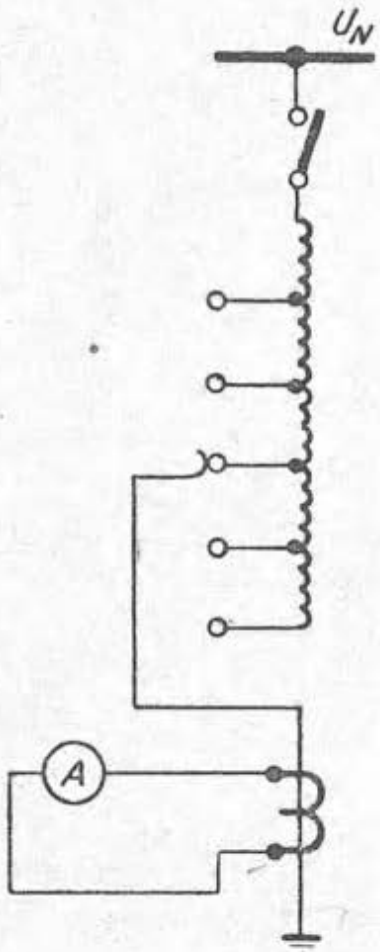


Fig. 3.22.

În cazul cînd bobina este prevăzută cu reglaj continuu, se măsoară reactanța pentru cîteva puncte ale poziției întrefierului (la capete și în două—trei puncte intermediare).

În situația cînd bobina are reglaj prin ploturi, reactanța se măsoară pe fiecare plot în parte.

Rezultatele măsurărilor se compară cu buletinele de fabrică sau cu probe anterioare. Diferențele față de acestea nu trebuie să depășească $\pm 5\%$.

4. Transformatoare de curent. Caracteristici, verificări

4.1. Generalități, carácteristici

Transformatoarele de curent sînt aparate electrice utilizate în instalațiile de curent alternativ de joasă, medie și înaltă tensiune, pentru alimentarea bobinelor aparatelor de măsurat și a releelor de protecție cu un curent secundar proporțional cu cel care parcurge înfășurarea primară.

Principalele caracteristici tehnice ale transformatoarelor de curent sînt :

a) *Curentul primar nominal* I_{PN}. Reprezintă curentul primar de funcționare în regim nominal. Conform STAS 4324-70, acest curent poate avea următoarele valori : 5 ; 10 ; (12,5) ; 15 ; 20 ; (25) ; 30 ; 40 ; 50 ; (60) ; 75 A, precum și multiplii zecimali ai acestor mărimi. Valorile din paranteze nu sînt recomandate.

b) *Curentul secundar nominal* I_{SN}. Este curentul secundar de funcționare în regim nominal. Conform STAS 4324-70, acesta poate lua valorile 1 ; 2 sau 5 A.

c) *Tensiunea maximă de lucru* U_{max}. Reprezintă valoarea efectivă cea mai mare a tensiunii la care transformatorul poate funcționa în regim de lungă durată în condiții normale de exploatare.

d) *Raportul de transformare nominal* K_C

$$K_C = \frac{I_{PN}}{I_{SN}}$$

e) *Curentul limită termic* I_t [kA]. Reprezintă valoarea efectivă cea mai mare a curentului primar de scurtcircuit, pe care transformatorul de curent cu înfăşurările secundare scurtcircuitate îl suportă timp de o secundă, fără a depăşi limita de încălzire admisibilă.

f) *Curentul limită dinamic* I_d [kAmax]. Reprezintă valoarea de vîrf a primei alternanţe a curentului primar de scurtcircuit, pe care transformatorul îl suportă din punct de vedere dinamic, înfăşurările secundare fiind scurtcircuitate.

g) *Curentul primar nominal de saturaţie* I_{PNS}. Reprezintă valoarea maximă a curentului primar pentru care eroarea de curent a transformatorului la sarcină secundară nominală şi $\cos \varphi = 0{,}8$ este de 5 sau 10%.

h) *Curentul secundar nominal de saturaţie* I_{SNS}. Reprezintă curentul secundar ce corespunde curentului primar nominal de saturaţie.

i) *Coeficientul de saturaţie* n. Este definit de raportul:

$$n = \frac{I_{PNS}}{I_{SNS}}$$

Conform STAS 4324-70, în funcţie de destinaţia înfăşurării secundare şi de tensiunea nominală, n poate lua valorile din tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

Destinaţia înfăşurării secundare	Tensiunea nominală	
	0,5...35 kV	60–400 kV
Măsurare	$n \leqslant 10$ sau $n < 5$	$n \leqslant 10$ sau $n < 5$
Protecţie	$n > 10$ sau $n > 5$	$n > 30$; $n > 15$; $n > 10$

j) *Eroarea de curent (eroarea de raport)* ε_i [%]. Reprezintă eroarea pe care transformatorul o introduce la măsurarea curentului. Ea apare datorită faptului că raportul de transformare real este diferit de cel nominal.

k) *Eroarea de unghi* δ_i. Reprezintă unghiul de defazaj dintre vectorul curentului primar și cel al curentului secundar, al căror sens este astfel ales, încît acest unghi să fie nul la un transformator de curent ideal.

l) *Sarcina secundară nominală* Z_{SN} [Ω]. Reprezintă sarcină secundară pentru care sînt garantate condițiile de precizie și funcționare.

m) *Sarcina secundară* Z_s [Ω]. Reprezintă impedanța circuitului secundar, cu indicarea factorului de putere.

n) *Puterea secundară nominală* S_N [VA]. Reprezintă puterea absorbită la sarcină secundară nominală, în regim nominal de funcționare.

o) *Clasa de precizie.* Reprezintă eroarea maximă admisibilă pentru curentul nominal secundar și o impedanță cuprinsă între $0{,}25 \ldots 1 \times Z_{SN}$, la $\cos \varphi = 0{,}8$.

Pentru măsurare se utilizează înfășurările de clasă 0,2 ; 0,5 sau 1. Pentru protecție se utilizează înfășurările de clasă 5 P sau 10 P.

Clasa 5 P se recomandă a fi folosită pentru alimentarea protecțiilor de distanță, direcționale, diferențiale, maximale de curent și contra punerilor la pămînt. Clasa 10 P se recomandă a fi folosită pentru alimentarea protecției maximale și pentru dispozitivele de acționare cu curent operativ alternativ.

Conform [36], marcarea bornelor transformatoarelor de curent se face notînd bornele primare cu $P_1 - P_2$, iar cele secundare, cu $1S_1 - 1S_2$; $2S_1 - 2S_2$; etc. (fig. 4.1).

În cazul înfășurărilor secundare, cu cifra 1 se notează : miezul cu precizia cea mai mare ; în situația aceleiași precizii, miezul cu puterea cea mai mică, iar în situația aceleiași puteri, miezul cu coeficientul de saturație cel mai mic.

În fig. 4.2 este prezentată schema formării primei părți a simbolurilor transformatoarelor de curent.

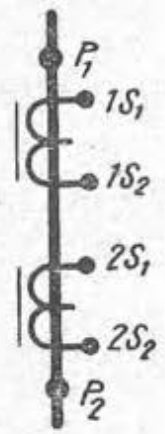


Fig. 4.1.

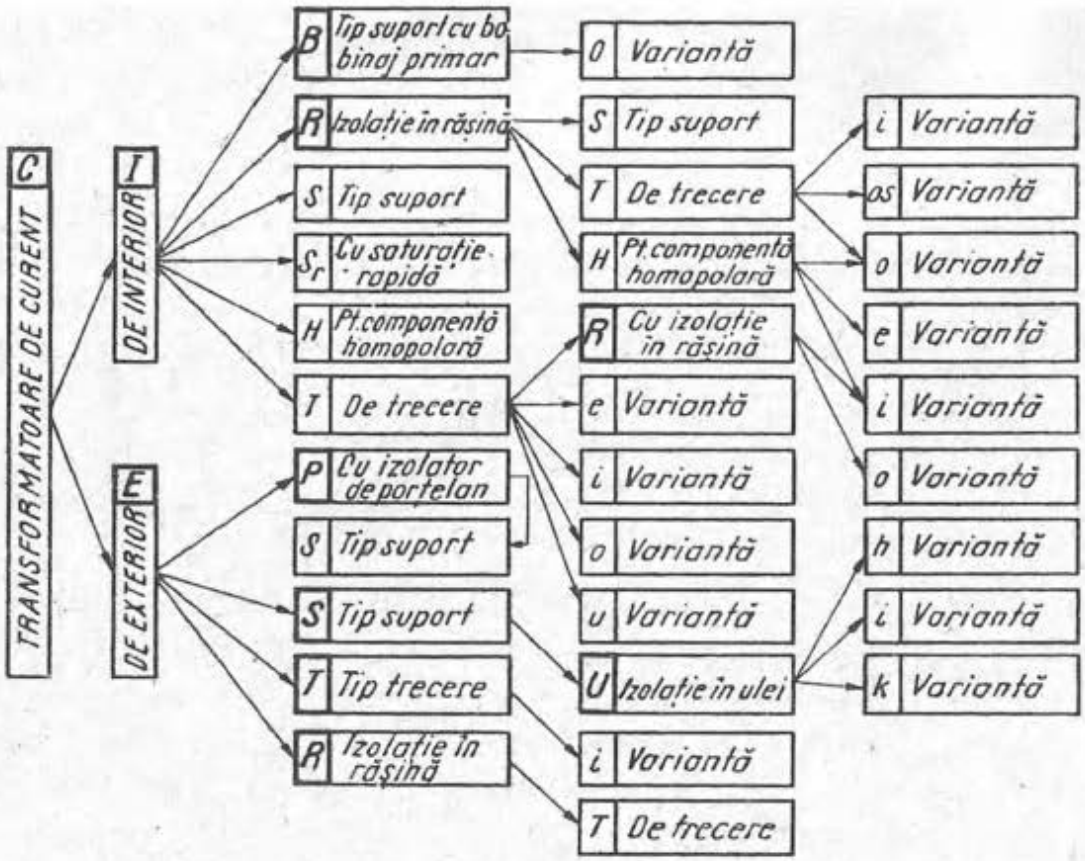


Fig. 4.2.

În completarea celor prezentate în fig. 4.2 trebuie avute în vedere următoarele :

a) La transformatoarele CITu — CITo — CITi — CIBo — 0,5 kV, literele B, u, o, i au următoarele semnificații :

B — tip suport cu bobinaj primar ;

u — montaj direct pe cablu de forță izolat ;

o — montaj tip șaibă în circuitul primar, cu bare plate ;

i — montaj direct în circuitul primar, cu bare dreptunghiulare.

b) La transformatoarele CIRTo — CIRTos — CIRTi — 10—20—35 kV, literele o, os, i au următoarea semnificație :

o — monospiral, cu bară de trecere rotundă și flanșă mediană de fixare ;

os — monospiral, cu bară de trecere rotundă și picior suport median ;

i — monospiral, cu bară de trecere dreptunghiulară.

Tabelul 4.2

Nr. curent probă	Denumirea probei			Momentul efectuării probei				
				PIF	RT	IRR	Anual	Obs., alte momente de efectuare a probei
4.2.1	Încercarea uleiului din cuvă (control curent)	Transformatoare de curent etanșe	Românești		La RT, dar nu mai rar de 3 ani	X	X*	
			Străine		La 2RT, dar nu mai rar de 6 ani	X	X*	
		Transformatoare de curent neetanșe		X**		X	X*	la 2 ani
4.2.2	Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor			X	La RT, dar nu mai rar de 3 ani	X	X*	
4.2.3	Măsurarea tg δ a izolației principale			X**	La RT, dar nu mai rar de 3 ani la transformatoarele neetanșe	X	X*	
					La RT, dar nu mai rar de 6 ani la transformatoarele etanșe			
4.2.4	Încercarea cu tensiune mărită a înfășurării secundare			X		X		
4.2.5	Încercarea cu tensiune mărită a înfășurării primare			X***		X		
4.2.6	Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor			X		X		
4.2.7	Verificarea polarității înfășurărilor			X		X		
4.2.8	Verificarea raportului de transformare			X		X		La schimbarea raportului de transformare
4.2.9	Determinarea erorilor de unghi și de raport					X		Conform normativelor metrologice
4.2.10	Ridicarea curbei voltampermetrice			X		X		
4.2.11	Măsurarea sarcinii secundare			X				Modificări în circuitele de curent

4.2. Verificarea transformatoarelor de curent

În tabelul 4.2 sînt prezentate principalele probe la care sînt supuse transformatoarele de curent, precum și momentul efectuării lor.

* Probele anuale se vor executa numai la transformatoarele de curent la care s-a constatat o înrăutățire a izolației principale sau în cazul obținerii unor valori la limită.

** Buletinele de fabrică sînt valabile la PIF, dacă nu s-au depășit 6 luni de la emiterea lor.

*** Proba este obligatorie la PIF numai la transformatoarele de curent cu $U_N \leqslant 35$ kV.

— I.R.R. reprezintă intervenții, reparații, accidentale și recondiționări.

Semnificația celorlalte notații din tabelul 4.3 este indicată la § 1.3.

4.2.1. *Încercarea uleiului din cuvă*

Probele de ulei se recoltează conform celor indicate la paragrafele precedente, utilizîndu-se în acest scop bușoanele de golire ale cuvei.

Este recomandat ca în momentul recoltării probei transformatorul de măsurat să fie în stare caldă, adică imediat după deconectare.

Efectuarea probei este obligatorie pentru transformatoarele de curent de 110—400 kV. La cele de 3—60 kV, în locul efectuării probei se preferă înlocuirea uleiului la 6—10 ani.

În mod obișnuit încercarea uleiului din cuva transformatoarelor de măsurat cuprinde numai controlul curent. În cazul cînd rezultatele controlului curent nu sînt satisfăcătoare, se execută și analiza redusă (tabelul 4.3).

În cadrul controlului curent, aspectul, cărbunele în suspensie și prezența apei în ulei sînt determinări calitative.

Tabelul 4.3

Nr. crt. probă	Denumirea probei	Control curent		Analiză redusă	
		Transf. de măsură de 6-60 KV	Transf. de măsură de 110-400 KV	Transf. de măsură de 6-60 KV	Transf. de măsură de 110-400 KV
1	Aspect	×	×	×	×
2	Cărbune în suspensie	×	×	×	×
3	Prezența apei în ulei	×	×	×	×
4	Punct de inflamabilitate	—	—	×	×
5	Rigiditate dielectrică	×	×	×	×
6	Tangenta unghiului de pierderi dielectrice	—	×	×	×
7	Aciditate organică	—	×	×	×
8	Impurități mecanice	—	—	×	×

Valorile admisibile pentru rigiditatea uleiului, precum și cele pentru tangenta unghiului de pierderi dielectrice, care sînt determinări cantitative, sînt indicate în tabelul 4.4.

Tabelul 4.4

Momentul efectuării probei	Rigiditatea dielectrică minimă admisibilă [kV/cm]			Valoarea maximă a tg δ la 90°		
	6—35 kV	60—110 kV	200—400 kV	6—35 kV	60—110 kV	220—400 kV
Înainte de umplere	200	200	200	0,005	0,005	0,005
După umplere (numai după reparații sau recondiționări)	200	200	200	0,030	0,025	0,020
PIF	140	160	180	0,035	0,035	—
În exploatare	120	140	160	0,100	0,100	0,100

În cadrul analizei reduse, modul de lucru și valorile de comparație trebuie să fie conforme cu cele prezentate în STAS 5488-56 ; STAS 5489-56 ; STAS 23-68 și STAS 33-71.

4.2.2. *Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor*

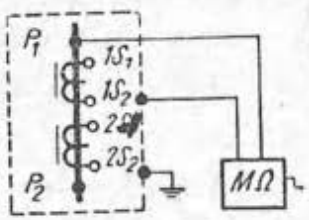
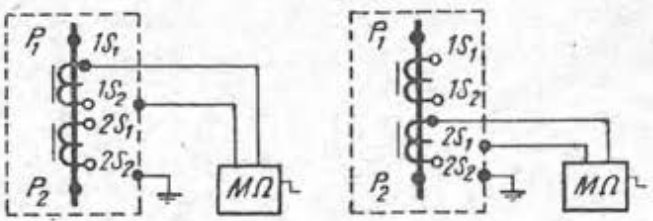
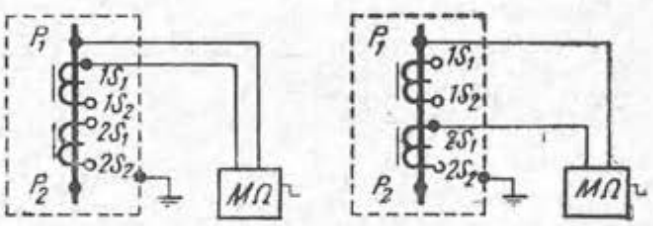
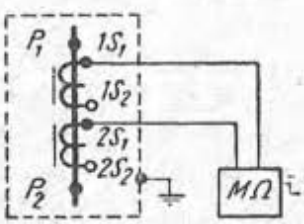
Proba se execută cu ajutorul megohmmetrului de 2500 V, timp de 1 minut, respectînd indicațiile din tabelul 4.5.

Rezultatele obținute se compară cu cele de la PIF, nefiind tolerate față de acestea, scăderi sub :

— 50%, la transformatoarele de curent cu $U_N \leqslant 110$ kV ;

— 70%, la transformatoarele de curent cu $U_N > 110$ kV.

Tabelul 4.5

Nr. crt.	Modul de conectare a inductorului	Schema de montaj
1	Între înfășurarea primară și cuva transformatorului de măsură	
2	Între fiecare înfășurare secundară și cuva transformatorului de măsurat	
3	Între înfășurarea primară și fiecare înfășurare secundară	
4	Între înfășurările secundare	

În exploatare, dacă datele de la PIF lipsesc, pot fi luate în considerare următoarele valori minime ale rezistenței de izolație :

— pentru înfășurarea primară
5 000 MΩ la transformatoarele de curent de 110—400 kV ;
2 000 MΩ la transformatoarele de curent de 6—35 kV
— pentru înfășurările secundare
50 MΩ între înfășurări sau față de cuvă.

4.2.3. *Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice (tg δ) al izolației principale*

Proba se execută de regulă la transformatoarele de curent de 110—400 kV.

Pentru efectuarea ei în condiții de teren, se utilizează punți Schering tip MD-16 sau P-595, care folosesc tensiunea de încercare de 10 kV.

Pentru micșorarea erorilor este recomandabil ca măsurările să fie executate numai pe timp frumos, la o temperatură mai mare de 10°C, astfel încît bornele și carcasa de porțelan să nu fie umezite. Temperatura uleiului trebuie să fie cuprinsă între 10 și 30°C. Se recomandă de asemenea ca înaintea începerii măsurărilor carcasa de porțelan precum și bornele să fie curățate de praf sau murdărie.

Montajul se realizează numai după ce toate legăturile exterioare ale transformatorului de curent ce urmează a fi verificat au fost deconectate, atît pe partea primară cît și pe cea secundară.

Întrucît urmează ca în timpul încercării să se aplice o tensiune de 10 kV, este necesar să se respecte cu strictețe toate indicațiile referitoare la acest gen de lucrări, din normativul PE 119/1976, „Norme de protecție a muncii pentru instalații electrice".

Conform [38] conexiunea cea mai des utilizată la măsurarea factorului de pierderi dielectrice la transformatoarele de curent este : înfășurarea de înaltă tensiune scurtcircuitată, față de secundarele scurtcircuitate și legate la cuvă, la care se conectează și eventualele ecrane existente.

Întrucît una din bornele capacității astfel formate este legată la pămînt, se va utiliza schema inversă (răsturnată) a punții Schering. În fig. 4.3 este prezentat modul de conectare a punții MD-16, iar în fig. 4.4, modul de conectare a punții P-595.

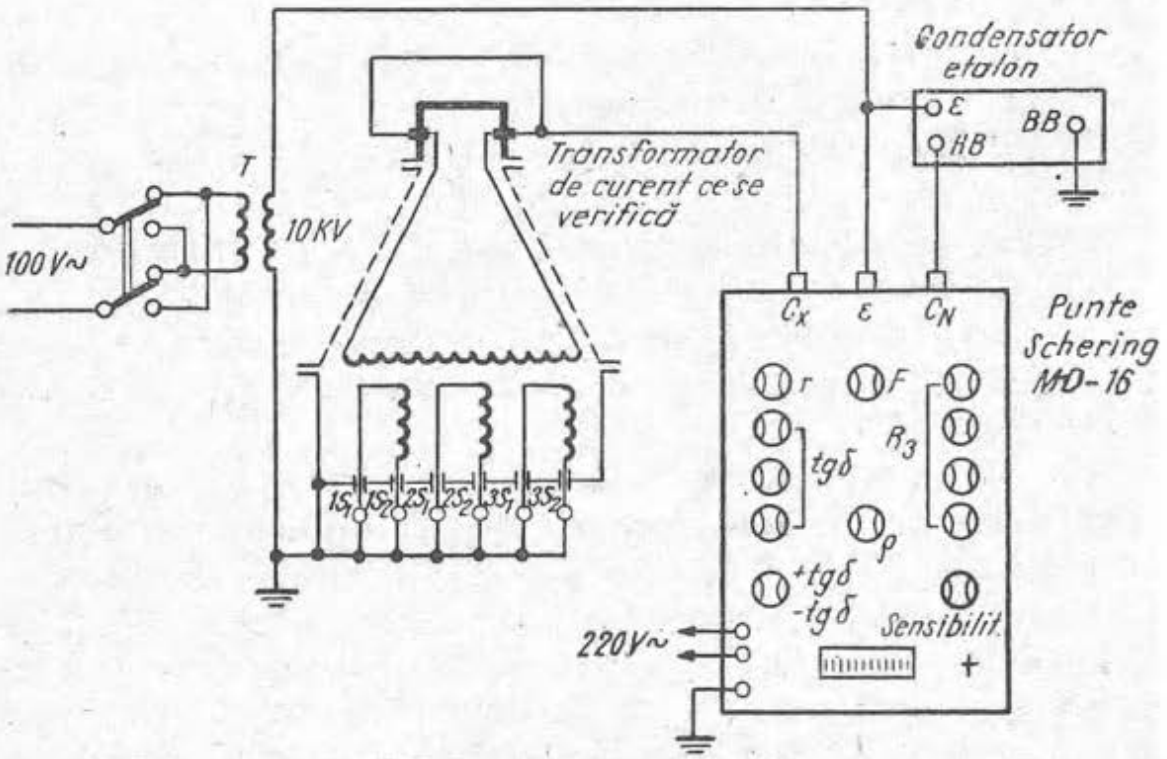


Fig. 4.3.

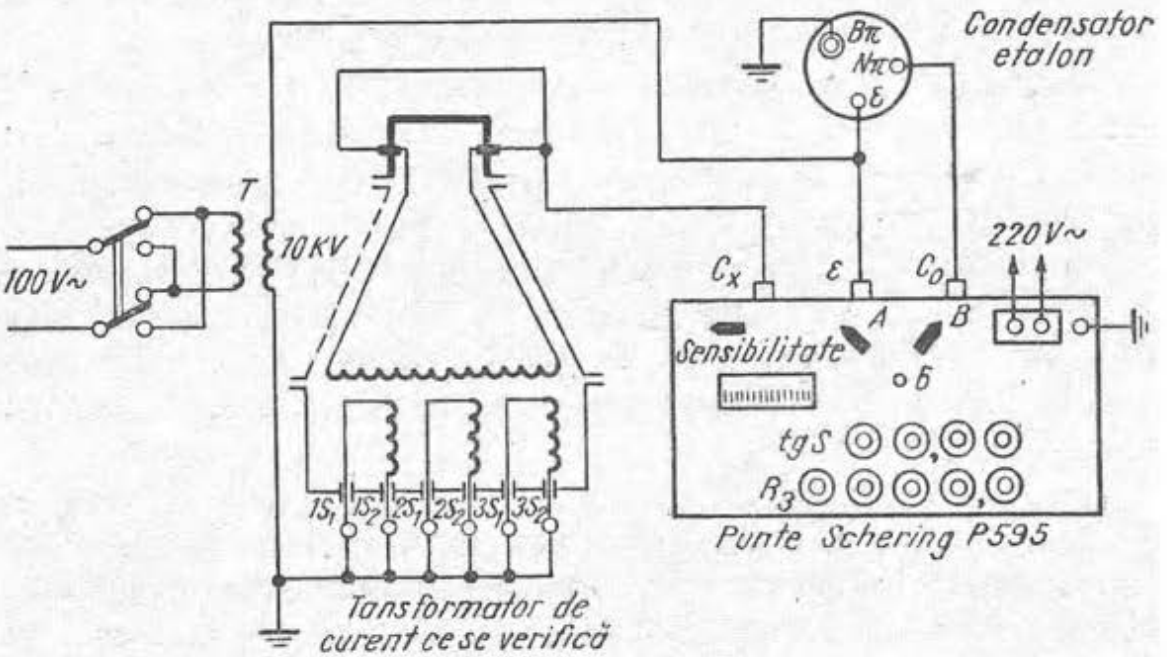


Fig. 4.4.

Instalarea punții în stațiile sub tensiune se va face cît mai departe de circuitele aflate sub tensiune (minim 6—8 m în stațiile de 110 kV și 15—20 m în cele de 220—400 kV).

Cordoanele de legătură se vor suspenda cu ajutorul unor materiale izolante, în așa fel încît să existe cel puțin 150 mm între ele, ca și între diversele părți legate direct la pămînt. Se vor executa îngrădiri și se vor instala plăcuțe avertizoare care să împiedice accesul în zona transformatorului de tensiune, a condensatorului sau a circuitelor aflate la înaltă tensiune.

Echilibrarea punții se face conform indicațiilor din prospecte [39 ; 40].

Proba decurge astfel :

— pentru fiecare polaritate a galvanometrului se determină cîte o valoare a tg δ ;

— se inversează faza cu nulul sursei de alimentare și se repetă măsurările în același mod ca mai sus ;

— se efectuează media aritmetică a celor 4 măsurări, rezultînd astfel valoarea tg δ care se va lua în considerare.

În caz că în timpul măsurărilor datorită unor influențe exterioare, cum ar fi cele electrostatice sau electromagnetice, apar fenomene ca :

— imposibilitatea echilibrării punții ;

— valorile obținute pentru R_3 și tg δ diferă mult unele de altele cînd se schimbă polaritatea galvanometrului sau a rețelei de alimentare ;

— puntea se echilibrează numai pentru valori negative (— tg δ) pe una din polaritățile sursei de alimentare etc. trebuie aleasă o altă fază pentru alimentarea montajului. Dacă această măsură nu dă rezultate și fenomenele de mai sus persistă, se încearcă schimbarea poziției punții și a cordoanelor C_x, C_N sau $C_{\hat{x}}$, C_0. În ultima instanță, se recurge la deconectarea circuitelor vecine sau chiar a întregii stații.

De regulă rezultatele măsurărilor se compară cu cele inițiale, considerîndu-se normală o dublare a tangentei unghiului de pierderi dielectrice la 5 ani. În caz că aceste valori lipsesc, se pot utiliza indicațiile din tabelul 4.6.

Tabelul 4.6

Momentul efectuării probei	Transformator de curent			
	110 kV		220—400 kV	
Tensiunea de încercare	10 kV	60 kV	10 kV	U_N[KV]
PIF sau recondiţionări	0,012	0,015	0,007	0,012
În exploatare	0,030	0,035	0,010	0,015

Încercarea la tensiunea de 60 kV sau la tensiunea nominală, în cazul transformatoarelor de curent de 220—400 kV, nu este posibilă decît în laboratoare, cu punţi şi condensatoare etalon special dimensionate pentru aceste tensiuni.

4.2.4. *Încercarea izolaţiei înfăşurării secundare cu tensiune alternativă mărită*

Proba se execută utilizînd montajul din fig. 4.5, aplicîndu-se succesiv tensiunea de încercare timp de 1 minut, între fiecare înfăşurare secundară şi celelalte legate la soclul (cuva) transformatorului.

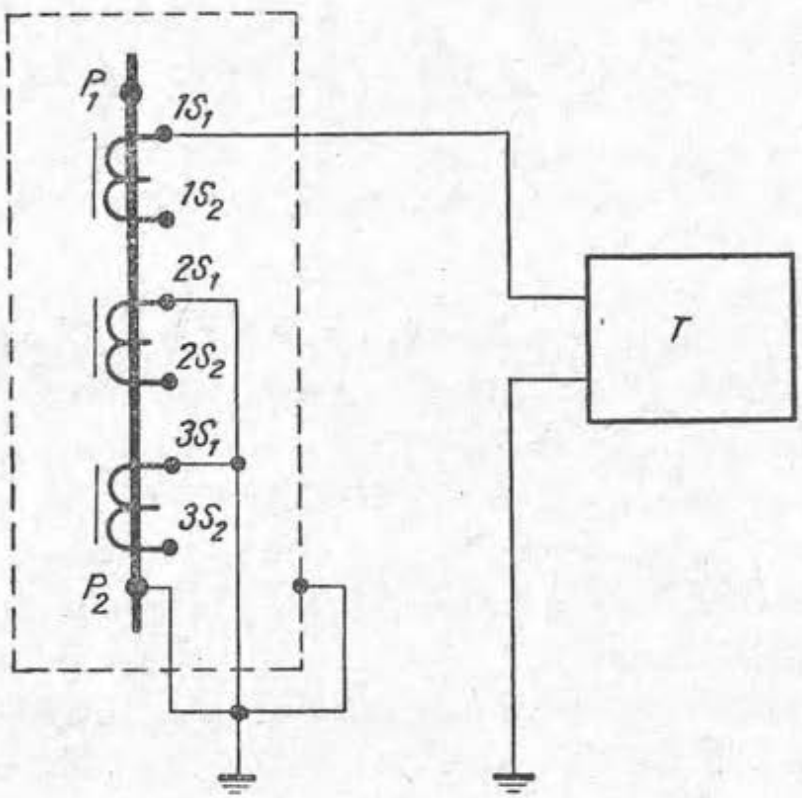


Fig. 4.5.

În timpul probei nu trebuie să apară străpungeri sau conturnări. Tensiunea aplicată trebuie să fie de 2 kV pentru înfăşurările de 5 A. În cazul înfăşurărilor de 1 A ce au o putere nominală mai mare de 30 VA, se poate utiliza o tensiune de încercare de 4 kV, dacă fabrica constructoare nu indică altă valoare.

În fig. 4.5, *T* reprezintă o trusă TCS-2 sau inductor de 2 500 V, în situaţia în care tensiunea aplicată nu depăşeşte 2 kV sau un ansamblu autotransformator-transformator ridicător, cînd este nevoie de o tensiune de 4 kV.

4.2.5. *Încercarea izolaţiei înfăşurării primare cu tensiune alternativă mărită aplicată*

Încercarea se execută conform montajului din fig. 4.6, numai după ce la probele precedente s-au obţinut rezultate satisfăcătoare. Înfăşurările secundare trebuie să fie legate în scurtcircuit şi la cuvă (soclu). *T* reprezintă instalaţia de încercare cu tensiunea alternativă mărită aplicată.

Pentru efectuarea probei se aplică o tensiune iniţială de cel mult 50% din tensiunea de încercare, după care tensiunea este crescută continuu sau în trepte de maxim 5% pînă la valoarea de încercare, în cel puţin 10 s şi cel mult 30 s.

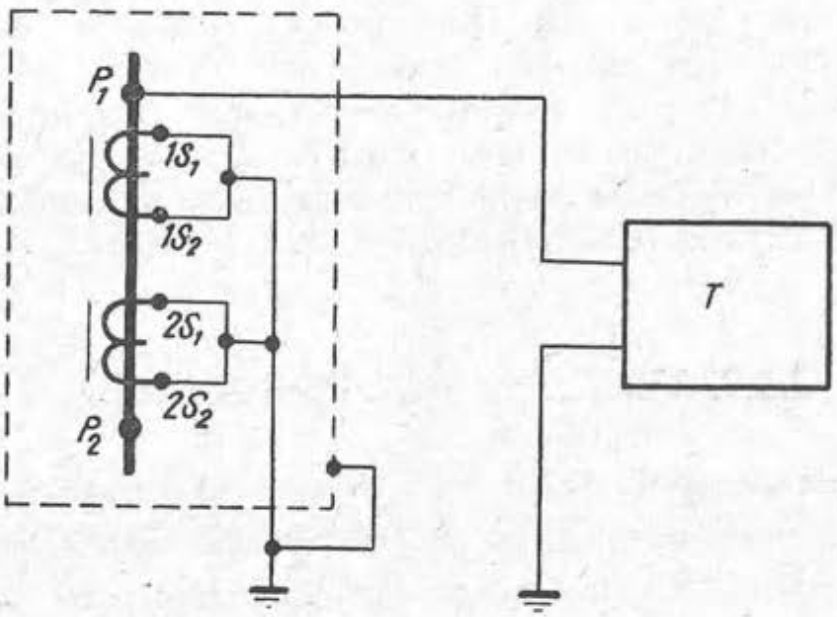


Fig. 4.6.

Transformatorul de curent este considerat corespunzător din punct de vedere al acestei probe, dacă el rezistă la tensiunea de încercare (tabelul 4.7) timp de 1 minut, fără a se produce străpungeri, conturnări, zgomote suspecte în interior, etc.

Tabelul 4.7

U_N[kV]	0,5	6	10	15	20	25	30	35	60	110	220	400
U_{inc}[kV]	2,7	19,8	26,2	34,2	45	54	63	72	126	207	414	610

În cazul transformatoarelor din import, tensiunea de încercare va fi de 90% din tensiunea de încercare din fabrică.

4.2.6. *Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor*

Proba se execută pentru fiecare înfășurare secundară în parte, utilizînd metoda voltmetrului și ampermetrului, a punții Wheatstone sau a punții Thompson (fig. 4.7, *a*, *b*, *c*).

Transformatorul de curent se consideră corespunzător din punct de vedere al acestei probe, dacă rezultatele obținute nu diferă cu mai mult de 2% față de valorile de referință.

Dacă puntea nu poate fi echilibrată, rezultă că înfășurarea respectivă este întreruptă. Dacă puntea indică o valoare ce depășește abaterile admise, s-ar putea să existe contacte imperfecte. Dacă puntea indică o valoare mai mică decît cea care ar trebui să rezulte (ținîndu-se cont de abaterile admisibile), înfășurarea respectivă s-ar putea să aibă spire în scurtcircuit sau să prezinte un defect de fabricație.

4.2.7. *Verificarea polarității bornelor*

Determinarea polarității corecte este importantă pentru acele transformatoare de curent ce alimentează circuite de măsurare (contoare, wattmetre sau varmetre) sau protecții direcționale, diferențiale, de distanță etc.

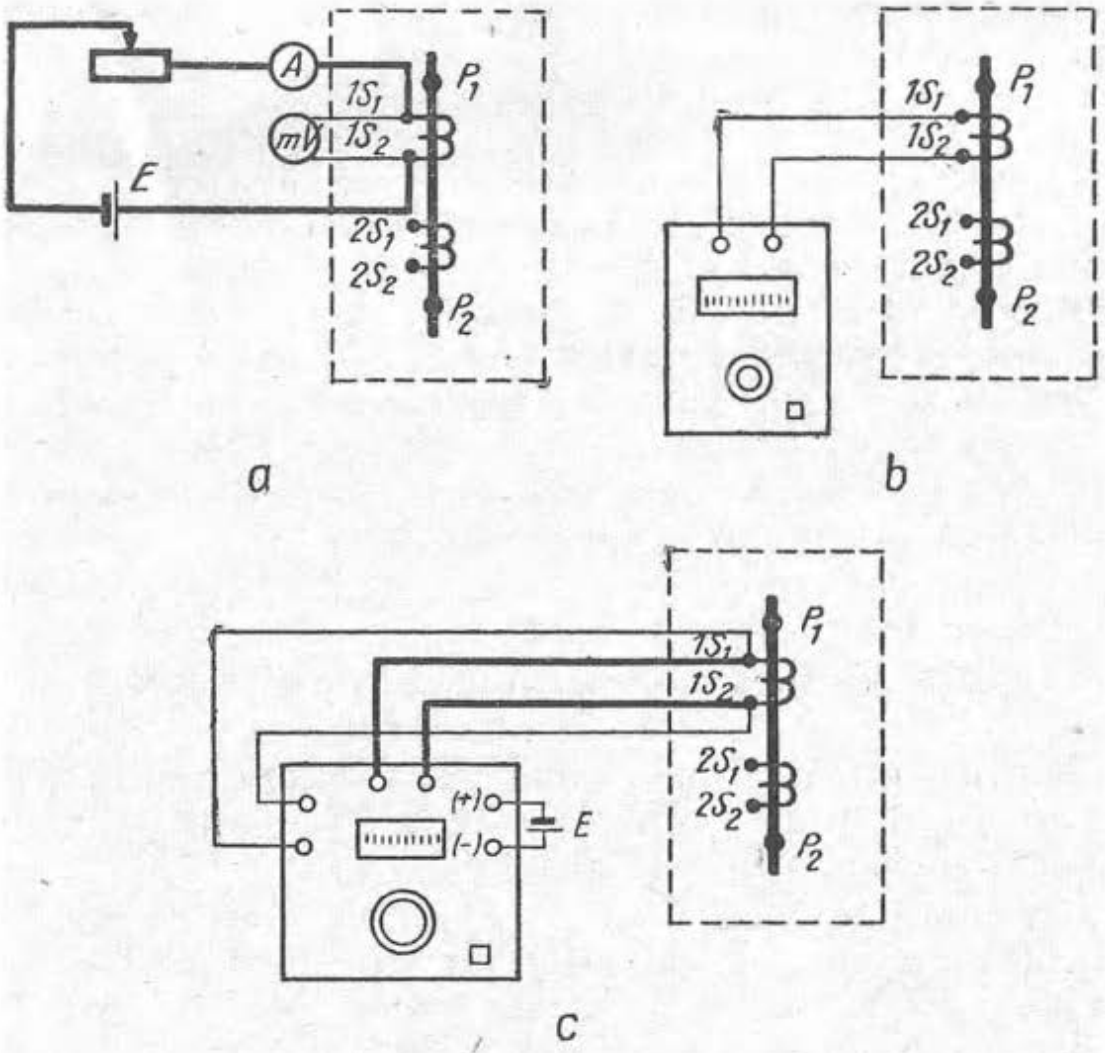


Fig. 4.7.

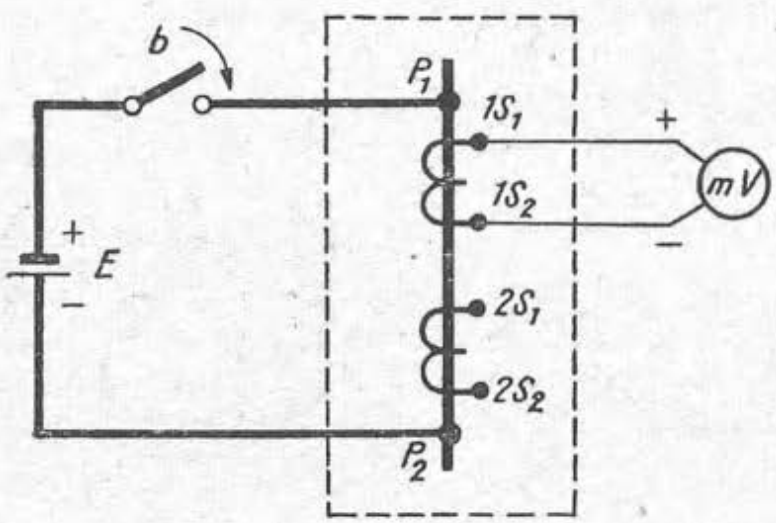


Fig. 4.8.

În principiu, pentru această verificare pot fi utilizate mai multe metode :

— metoda curentului continuu ;
— metoda wattmetrică ;
— metoda adunării algebrice a curenților, etc.

Datorită simplității ei, în cele ce urmează va fi prezentată numai prima metodă (fig. 4.8).

Practic, dacă polaritatea bornelor corespunde marcării efectuate, la conectarea comutatorului *b* acul milivoltmetrului *mV* va devia spre dreapta, după care va reveni la zero. În momentul deschiderii circuitului, el va devia spre stînga, după care revine din nou la zero. Dacă polaritatea este marcată greșit, se obțin indicații inverse.

4.2.8. *Verificarea raportului de transformare*

Pentru efectuarea măsurărilor pot fi folosite mai multe metode. La verificările ce se execută în teren, este preferată utilizarea metodei indirecte (fig. 4.9).

Montajul presupune existența autotransformatorului *AT* (8A/250 V), a trusei de curenți primari *TC*-1200, de 1 200 A și a unui transformator de curent etalon f_{101e}, cu clasă de precizie 0,2. Ampermetrele A_1 și A_2 trebuie să aibă clasa 0,2—0,5.

Raportul de transformare se măsoară în mod succesiv pentru fiecare înfășurare secundară, celelalte fiind scurt-circuitate și legate la masă.

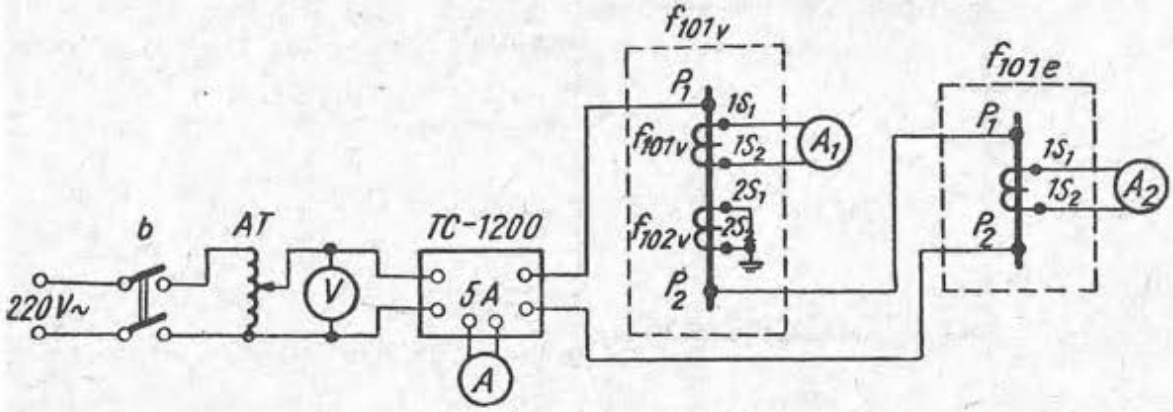


Fig. 4.9.

În principiu, verificarea se execută pentru un curent primar egal cu cel nominal. Este recomandat să se obțină însă și valorile raportului de transformare pentru 0,1 I_{PN} ; 0,2 I_{PN} și 1,2 I_{PN}.

Raportul de transformare se determină cu relația :

$$n_{TC_{vr}} = \frac{n_{T_{Ce}} \cdot I_{A_2}}{I_{A_1}}$$

în care $n_{TC_{vr}}$ reprezintă raportul de transformare al transformatorului ce se verifică ; n_{TC_e} — raportul de transformare al transformatorului de curent etalon ; I_{A_1} — curentul măsurat în secundarul transformatorului de curent ce se verifică ; I_{A_2} — curentul măsurat în secundarul transformatorului etalon.

Conform [5] dacă transformatorul de curent dispune de mai multe secțiuni primare, atunci raportul de transformare se verifică numai pentru conexiunea ce va fi utilizată în exploatare. Această conexiune trebuie menționată în buletinele de verificare.

Rezultatele obținute trebuie comparate cu cele din buletinul de fabrică sau cu cele de pe plăcuța cu datele tehnice ale transformatorului respectiv. Rezultate diferite de cele nominale pot evidenția scurtcircuite între spirele înfășurării secundare, borne sau legături slăbite, defecte de fabricație, etc.

4.2.9. *Determinarea erorilor de unghi și de raport*

Proba se execută cu punți speciale prin metode de compensare (Schering-Alberti), metode diferențiale (Hohle) etc.

Valorile limită ale erorilor admisibile sînt date de STAS-4324/70 (tabel 4.8 și tabel 4.9).

În timpul verificărilor, drept sarcină secundară se folosește un set de impedanțe constituite din rezistențe și bobine de reactanță, al căror raport este astfel ales, încît factorul de putere al circuitului să aibă valoarea cos $\varphi = 0{,}8$.

În tabelul 4.9 apare noțiunea de eroare compusă, ε_c. Ea a fost introdusă la recomandarea Comisiei Electroteh-

Tabelul 4.8

Clasa de precizie	Curent primar în % din valoarea nominală	Erori tolerate		Limitele sarcinii secundare Z_s, față de cea nominală la cos $\varphi = 0{,}8$*
		De curent $-\varepsilon_i$ (%)	De unghi $-\delta_i$ (minute)	
0,1	120...100	±10	± 5	25...100
	20	±0,20	± 8	
	10	±0,25	± 10	
0,2	120...100	±0,20	± 10	
	20	±0,35	± 15	
	10	±0,50	± 20	
0,5	120...100	±0,50	± 30	
	20	±0,75	± 40	
	10	±1,00	± 60	
1,0	120...100	±1,00	± 60	
	20	±1,50	± 80	
	10	±2,00	±120	
3,0	100...50	±3,00	—	50...100

* la $I_{SN} = 5$A, Z_s minim $= 0{,}15\ \Omega$ (putere 3,75 VA)
la $I_{SN} = 1$A, Z_s minim $= 1\ \Omega$ (putere 1 VA)

Tabelul 4.9

Clasa de precizie	Eroarea de curent pentru curentul nominal $-\varepsilon_i$ (%)	Defazajul pentru curentul nominal		Eroarea compusă pentru curentul $I_1 = n \cdot I_{NP} - \varepsilon_c$ (%)
		minute	centiradiani	
5P	±1	±60	±1,8	5
10P	±3	—	—	10

nice Internaționale 185 din 1966 și are drept scop aprecierea preciziei înfășurărilor de protecție. Pentru calculul erorii compuse se utilizează formula :

$$\varepsilon_c = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T (K_c i_s - i_p)^2 dt}$$

în care K_c este raportul de transformare nominal; T — perioada curentului; i_p, i_s — valorile instantanee ale curenților din primarul și secundarul transformatorului de curent; I_p — valoarea efectivă a curentului primar.

Eroarea compusă tolerată este de 5% la înfășurarea de protecție a cărei clasă de precizie este 5P și de 10% pentru cea 10P.

4.2.10. *Ridicarea curbei volt-amper*

Pentru ridicarea curbei volt-amper se utilizează montajul din fig. 4.10.

Proba se execută pentru fiecare înfășurare secundară în parte. Atît înfășurarea primară, cît și înfășurările secundare care nu se verifică rămîn deconectate față de restul circuitelor. Se ridică practic curba $U_2 = f(I_2)$, prin creșterea curentului pînă la 1,5 maximum 2 I_{SN}, citindu-se pentru diverse valori ale sale, tensiunile corespunzătoare.

La un secundar de 5A, aceste valori pot fi: 0,3; 0,6; 1; 2; 3A... etc. Citirile se fac în mod succesiv numai la creșterea curentului, fără a reveni la zero.

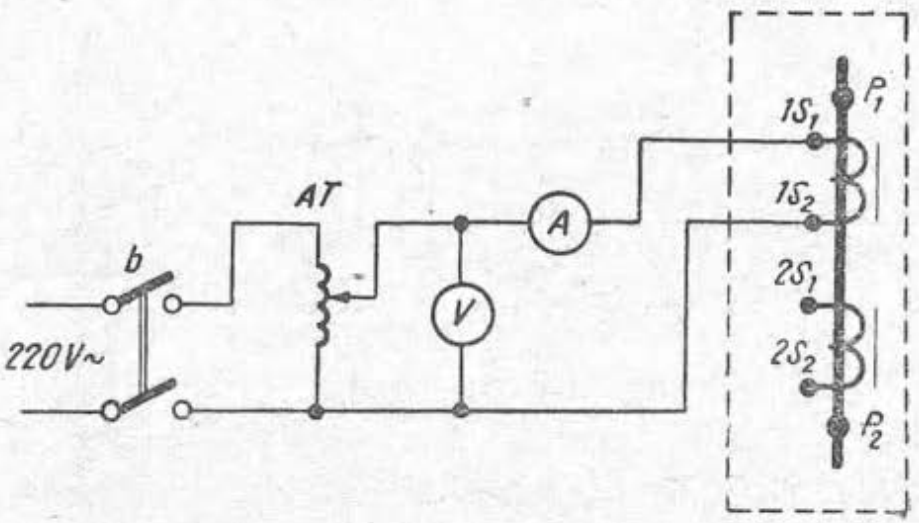


Fig. 4.10.

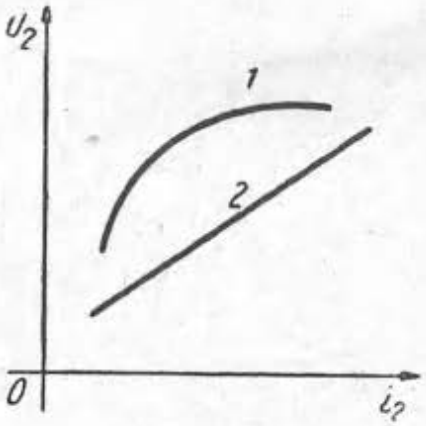


Fig. 4.11.

Curba obținută trebuie să fie asemănătoare ca formă cu curba *1* din fig. 4.11. În cazul cînd se obține o dreaptă *2)*, transformatorul de curent respectiv este necorespunzător.

La transformatoarele de curent de 220 și 400 kV, datorită impedanței mari a înfășurărilor secundare, utilizarea autotransformatoarelor obișnuite de 250 V/8 A nu permite de regulă ridicarea curentului pînă la valoarea necesară obținerii curbei. În această situație poate fi utilizat montajul din fig. 4.12, în care f_{201} este un transformator ridicător cu raportul 220/2 200 V sau asemănător.

Se recomandă însă ca tensiunea aplicată secundarului să nu depășească de regulă 1 300—1 500 V, chiar dacă curentul nu atinge în secundar 1A. Acest lucru este necesar pentru a nu se solicita în mod suplimentar izolația dintre spirele înfășurărilor secundare.

Indiferent de curentul sau tensiunea nominală a transformatorului încercat, după efectuarea probei, curbele

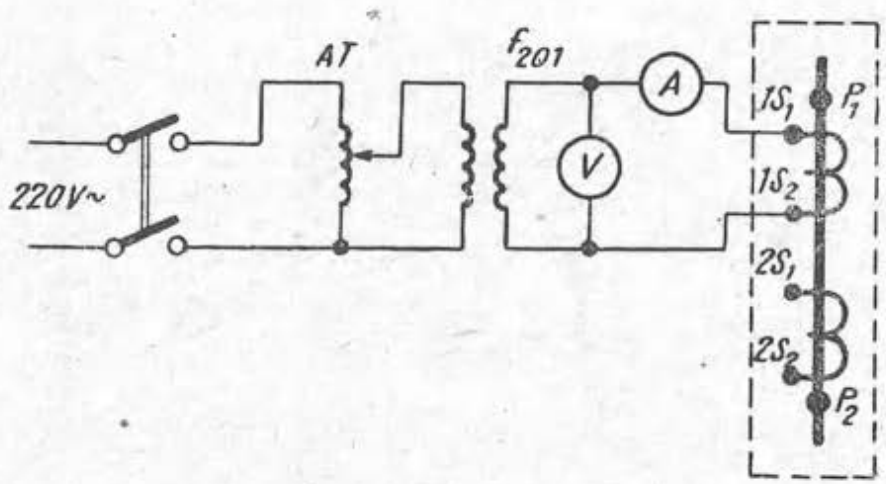


Fig. 4.12.

obținute se compară cu cele inițiale sau cu cele de la transformatoare de curent de același tip.

Încercarea oferă posibilitatea determinării eventualelor inversări ale înfășurărilor secundare ca urmare a unei conectări greșite în fabrică sau a unor scurtcircuite între spire.

4.2.11. *Măsurarea sarcinii secundare*

Proba se execută numai după ce s-a terminat montajul și sînt conectate toate aparatele și releele.

În cazul stațiilor exterioare, este necesar ca sarcina secundară să fie măsurată din cutia de cleme a celulei sau chiar direct de la bornele înfășurărilor secundare ale transformatoarelor de curent respective.

Așa cum se observă în fig. 4.13, măsurările se execută pe fiecare fază în parte, după ce în prealabil au fost deconectate legăturile spre secundarele transformatoarelor de curent.

Cu ajutorul trusei curent-tensiune, se reglează un curent egal cu curentul secundar nominal. Citindu-se tensiunea măsurată U, se poate calcula puterea secundară pe faza respectivă, cu relația :

$$S = U \cdot I_{SN} \quad [\text{VA}]$$

Valoarea obținută nu trebuie să depășească puterea secundară S_N, pentru clasa de precizie respectivă.

În cazul cînd curentul nu se închide pe una din faze, rezultă că pe faza respectivă, circuitul este întrerupt.

Dacă toate fazele sînt încărcate egal (fig. 4.13), trebuie să se obțină rezultate identice. În caz contrar, rezultă că există porțiuni de circuit scurtcircuitate sau relee montate greșit.

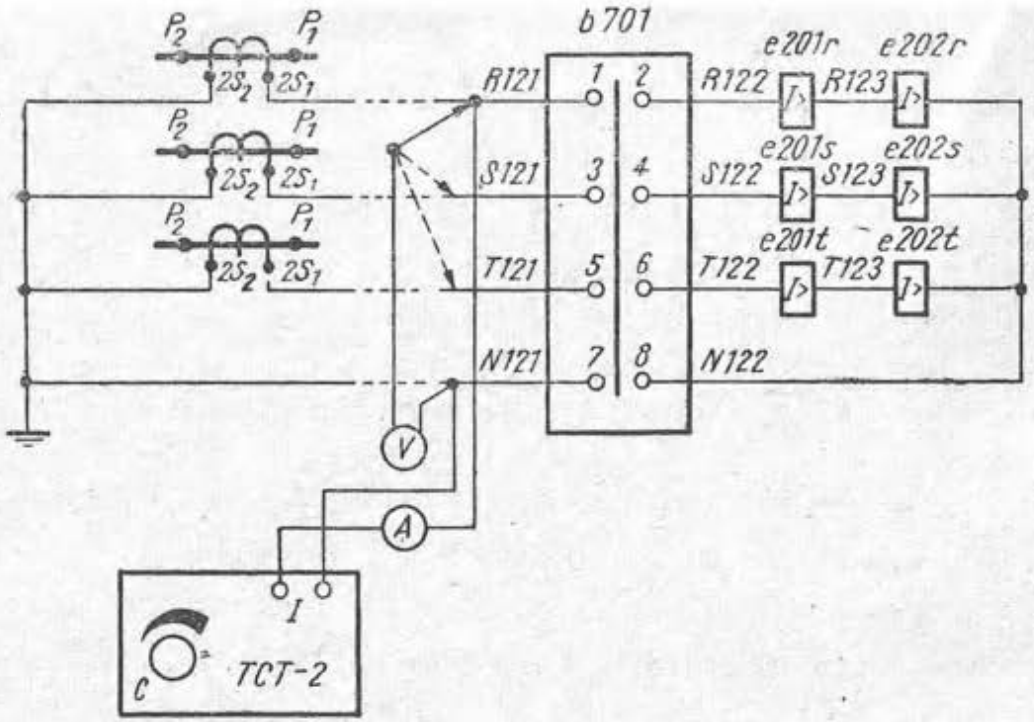


Fig. 4.13.

În cazul fazelor încărcate inegal prin proiect, acest lucru trebuie să se reflecte în rezultatele obținute în urma măsurărilor.

5. Transformatoare de tensiune. Caracteristici, verificări

5.1. Generalități, caracteristici

Transformatoarele de tensiune sînt utilizate în instalațiile de curent alternativ de joasă, medie și înaltă tensiune, pentru alimentarea bobinelor aparatelor de măsurat și a releelor de protecție cu o tensiune secundară proporțională cu tensiunea aplicată la bornele primare.

Din punct de vedere constructiv, transformatoarele de tensiune pot avea :

— primarul izolat față de pămînt, în cazul transformatoarelor care se conectează între faze ;

— un capăt al primarului legat la pămînt, în cazul transformatoarelor care se conectează pe fază.

Principalele caracteristici tehnice ale transformatoarelor de tensiune sînt :

a) *Tensiunea primară nominală* U_{PN}. Este tensiunea primară de funcționare în regim nominal. Conform STAS 4323-70 ea poate avea următoarele valori : 0,38 ; 0,40 ; 0,66 ; (3) ; (5) ; 6 ; 10 ; (15) ; 20 ; (30) ; 35 ; $(60/\sqrt{3})$; $110/\sqrt{3}$; $220/\sqrt{3}$; $400/\sqrt{3}$ kV.

Pînă la 35 kV inclusiv, sînt considerate tensiuni nominale și valorile de mai sus divizate cu $\sqrt{3}$. Mărimile din paranteze nu sînt recomandate.

b) *Tensiunea secundară* U_{SN}. Reprezintă tensiunea secundară de funcţionare în regim nominal. Conform standardului de mai sus, ea poate lua următoarele valori :

— 100 sau 100 $\sqrt{3}$ V, pentru înfăşurarea secundară principală ;

— 100/3 sau 100 V, pentru înfăşurarea secundară auxiliară.

c) *Tensiunea de izolaţie* U_{IZ}. Reprezintă tensiunea normalizată pentru care este dimensionată izolaţia exterioară a transformatorului de tensiune.

d) *Tensiunea maximă de lucru* U_{max}. Reprezintă valoarea efectivă cea mai mare a tensiunii la care transformatorul poate funcţiona în regim de lungă durată, în condiţii normale de exploatare.

e) *Raportul de transformare nominal* K_{NU}.

$$K_{NU} = \frac{U_{PN}}{U_{SN}} .$$

f) *Eroarea de tensiune* ε_u. Reprezintă eroarea pe care transformatorul o introduce la măsurarea tensiunii. Ea apare ca urmare a faptului că raportul de transformare real este diferit de cel nominal.

g) *Eroarea de unghi* δ_u. Reprezintă unghiul de defazaj dintre vectorul tensiunii primare şi cel al tensiunii secundare, al căror sens este astfel ales, încît acest unghi să fie nul la un transformator de tensiune ideal.

h) *Sarcina secundară nominală* Y_{SN} [S]. Reprezintă sarcina secundară pentru care sînt garantate condiţiile de precizie şi funcţionare.

i) *Sarcina secundară* Y_S [S]. Reprezintă admitanţa circuitului secundar exprimată în siemens, cu indicarea factorului de putere (capacitiv sau inductiv).

j) *Puterea secundară nominală* S_N [VA]. Reprezintă puterea absorbită de sarcina secundară nominală, în regim nominal de funcţionare.

k) *Puterea secundară maximă* S_{max} [VA]. Reprezintă puterea absorbită de o sarcină secundară avînd $\cos \varphi = 0{,}8$ inductiv, tensiunea primară avînd valoarea U_{max}, încălzirea diferitelor părţi ale transformatorului nedepăşind limitele admise, iar eroarea de tensiune fiind de maxim 10%.

Cînd nu se specifică alte valori, puterea secundară maximă poate fi considerată :

— 8 ori puterea indicată la clasă 0,5 ;

— 4 ori puterea indicată la clasă 1,0 ;

— 2 ori puterea indicată la clasă 3,0.

l) *Clasa de precizie.* Reprezintă notarea convenţională a limitelor erorilor pe care transformatorul trebuie să le respecte. Ea se exprimă în cifre sau în cifre urmate de litera P.

Conform STAS 4323-70, înfăşurările de clasă 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1 şi 3 sînt utilizate pentru măsurare, în timp ce înfăşurările de clasă 3P şi 6P sînt utilizate pentru protecţie.

În fig. 5.1, este prezentată schema formării primei părţi a simbolurilor transformatoarelor de tensiune.

Trebuie menţionat că la transformatoarele tip TIRMo-10.G 20 kV ; TIRMo — 15.G 20 kV ; TIRMo — 24.G 35 kV, grupul de cifre şi litera G semnifică un transformator de tensiune ce lucrează la o tensiune nominală, dar are alt nivel de izolaţie. De exemplu, simbolul TIRMo — 10.G 20 kV, semnifică un transformator cu tensiunea primară nominală de 10 kV, dar construit la gabaritul corespunzător nivelului de izolaţie de 20 kV.

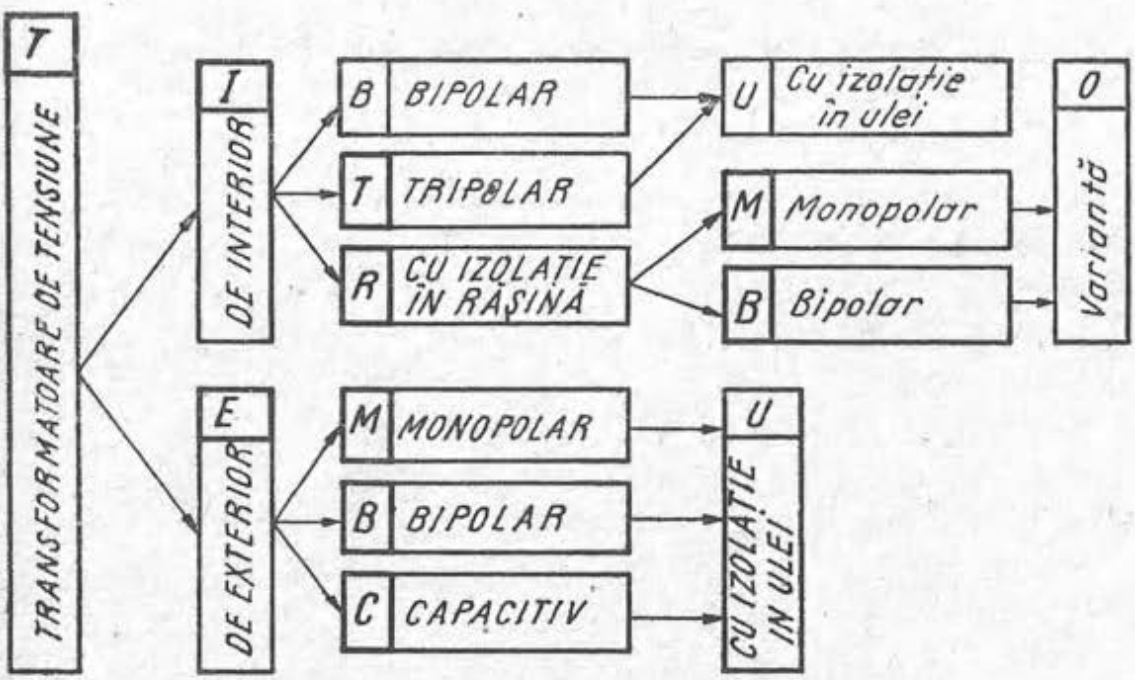


Fig. 5.1.

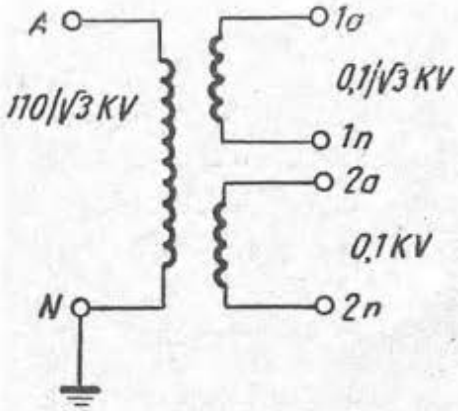


Fig. 5.2.

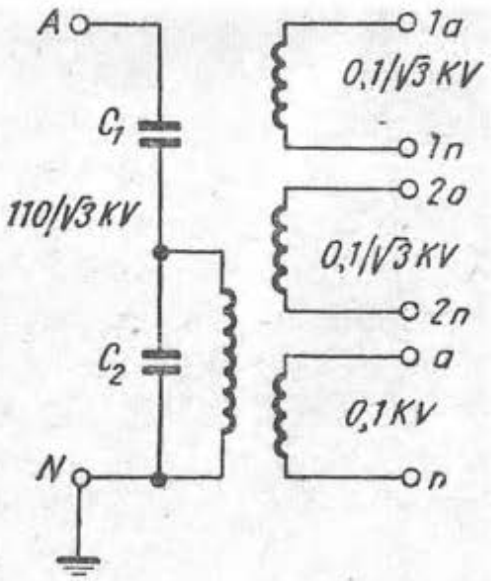


Fig. 5.3.

În fig. 5.2 este prezentată schema electrică a transformatorului de tensiune TEMU — 110 kV.

În fig. 5.3 este prezentată schema electrică a transformatoarelor de tensiune tip TECU — 110 (220—400) kV.

5.2. Verificarea transformatoarelor de tensiune

În tabelul 5.1, sînt prezentate principalele probe la care sînt supuse transformatoarele de tensiune, precum și momentul efectuării lor.

Semnificația diverselor notații din tabelul 5.1 este prezentată la § 1.3.

* Probele anuale se vor executa numai la transformatoarele de tensiune la care s-a constatat o înrăutățire a izolației principale sau în cazul obținerii unor valori la limită.

** Buletinele de fabrică sînt valabile la PIF, dacă nu au trecut 6 luni de la emiterea lor.

*** Proba este obligatorie la PIF, numai pentru transformatoarele cu $U_N \leqslant 35$ kV.

Tabelul 5.1

Nr crt. probă	Denumirea probei			Momentul efectuării probei				
				PIF	RT	IRR	Anual	Observații, alte momente de efectuare a probei
5.2.1	Încercarea uleiului din cuvă (control curent)	Transformatoare de tensiune etanșe	Românești	—	la RT, dar nu mai rar de 3 ani	X	X*	—
			Străine	—	la 2RT, dar nu mai rar de 6 ani	X	X*	—
		Transformatoare de tensiune neetanșe		X**	—	X	X*	la 2 ani
5.2.2	Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor			X	la RT, dar nu mai rar de 3 ani	X	X*	—
5.2.3	Măsurarea tg δ a izolației principale			X**	la RT, dar nu mai rar de 3 ani (transformatoare neetanșe) La 2RT, dar nu mai rar de 6 ani (transformatoare etanșe)	X	X*	Proba nu se execută la transformatoare capacitive de 110—400 kV
5.2.4	Încercarea cu tensiune mărită a înfășurării secundare			X	—	X	—	—
5.2.5	Încercarea cu tensiune mărită a înfășurării primare			X***	—	X	—	—
5.2.6	Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor			X	—	X	—	—
5.2.7	Verificarea polarității înfășurărilor			X	—	X	—	—
5.2.8	Verificarea raportului de transformare			X	—	X	—	—
5.2.9	Determinarea erorilor de unghi și de raport			—	—	X	—	Conform normativelor metrologice
5.2.10	Ridicarea caracteristicii de mers în gol			X	—	X	—	—
5.2.11	Măsurarea sarcinii secundare			X	—	—	—	Modificări în circuitele de tensiune

5.2.1. *Încercarea uleiului din cuvă*

Probele de ulei se recoltează în condițiile indicate în paragrafele precedente, utilizîndu-se în acest scop bușonul de golire al cuvei. Este recomandabil ca în momentul recoltării probei, transformatorul de măsurat să fie în stare caldă, adică imediat după deconectare.

Proba se execută de regulă numai la transformatoarele inductive de 110—400 kV.

Luarea probelor din condensatoarele transformatoarelor de tensiune de 110—400 kV de tip capacitiv este interzisă.

La PIF, este de asemenea interzisă recoltarea probelor din cuva părții inductive a acestui tip de transformator.

La transformatoarele de tensiune de 6—60 kV, proba este facultativă. Se preferă de regulă înlocuirea uleiului la 6—10 ani.

Ca și la transformatoarele de curent, încercarea uleiului din cuvă presupune în general efectuarea controlului curent. Dacă rezultatele controlului curent nu sînt satisfăcătoare, atunci se execută și analiza redusă (vezi tabel 4.3).

Valorile obținute pentru rigiditatea dielectrică și tg δ la 90° se compară cu cele din tabelul 4.4.

5.2.2. *Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor*

Proba se execută cu inductorul de 2 500 V. În principiu rezistența de izolație se măsoară între fiecare înfășurare și corpul metalic al transformatorului, precum și între înfășurări luate două cîte două (tabel 4.5).

La transformatoarele de tensiune inductive monofazate care au borna de legare la pămînt a înfășurării primare inaccesibilă, precum și la transformatoarele capacitive, măsurările se execută între înfășurările secundare și corpul metalic, precum și între ele.

Rezultatele măsurărilor se compară cu cele de la punerea în funcțiune, nefiind tolerate față de acestea scăderi sub:

— 50% la transformatoarele de tensiune cu $U_N \leqslant 110$ kV.

— 70% la transformatoarele de tensiune cu $U_N > 110$ kV.

Dacă datele de la PIF lipsesc, în exploatare pot fi luate în considerare următoarele valori minime ale rezistenței de izolație :

— 2 000MΩ pentru înfășurarea primară ;

— 50 MΩ pentru înfășurarea secundară.

5.2.3. *Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice* (tg δ) *al izolației principale*

Proba se execută numai la transformatoarele inductive TEMU-110 kV sau similare.

Datorită capacității mici existente între înfășurarea de înaltă tensiune pe de o parte și înfășurările secundare și cuvă pe de altă parte, utilizarea punților MD-16 și P-595 în schema inversată prezentată la § 4.2.3, nu mai este posibilă.

Pentru extinderea domeniului de măsurare ai punții, se recurge la schema din fig. 5.4, în care : f_{201} este un transformator ridicător de tensiune (10/0,1 kV) ; C_e — capacitate etalon ; C_x — obiectul ce se verifică ; R_3, R_4, C_4, G elemente care intră în componența punții Schering.

După cum se observă, această schemă, față de schema normală (fig. 5.5), are inversate brațele R_3 cu R_4, astfel încît rezistența cu decade R_3 să fie conectată în paralel cu capacitatea variabilă C_4.

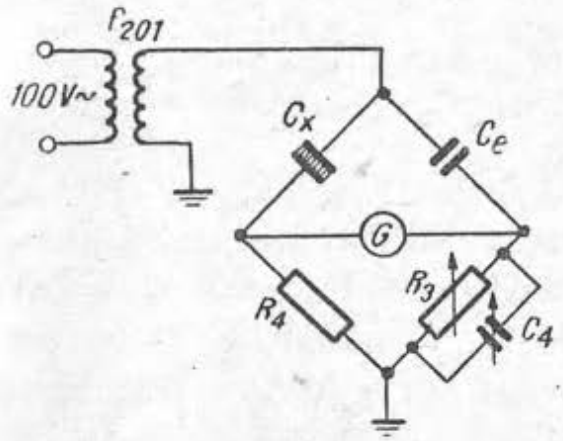


Fig. 5.4.

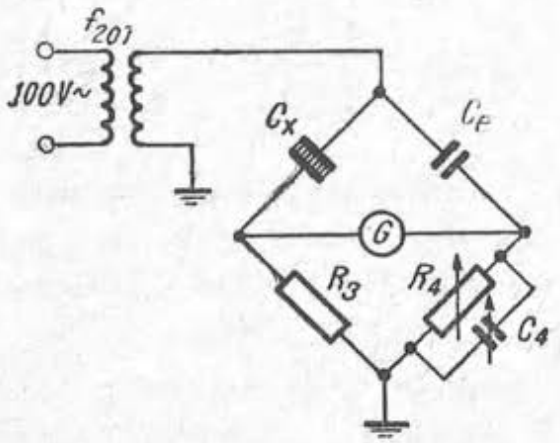


Fig. 5.5.

Schema astfel realizată permite efectuarea măsurărilor cu o eroare ce nu depășește 20% [38] la o tensiune de 10 kV.

În momentul cînd se realizează echilibrarea punții, tangenta pierderilor dielectrice a izolației transformatorului de tensiune verificat nu mai este dată de valoarea citită direct pe punte, ci de formula :

$$\operatorname{tg}\delta = (R_3 + 1)\omega C_4$$

în care : R_3 [Ω] se citește direct pe punte ; ω — pulsația tensiunii aplicate [314] ; C_4 [F] se determină din tabelul 5.2.

Deoarece decadele condensatorului C_4 sînt etalonate direct în tg δ [%], pentru obținerea capacității C_4 se utilizează următoarele echivalențe între valoarea citită pe punte pentru tg δ și capacitatea C_4 (tabelul 5.2).

Tabelul 5.2

Decadă *I* — zeci de unități (butonul *1*, pentru tg δ)		Decadă *II* — unități (butonul *2* pentru tg δ)		Decadă *III* — zecimi de unități (butonul *3* pentru tg δ)	
tg δ citit pe punte (%)	Capacitatea C_4 echivalentă [F]	tg δ citit pe punte [%]	Capacitatea C_4 echivalentă [F]	tg δ citit pe punte [%]	Capacitatea C_4 echivalentă [F]
10	$0{,}1\times10^{-6}$	1	$0{,}01\times10^{-6}$	0,1	$0{,}001\times10^{-6}$
20	$0{,}2\times10^{-6}$	2	$0{,}02\times10^{-6}$	0,2	$0{,}002\times10^{-6}$
30	$0{,}3\times10^{-6}$	3	$0{,}03\times10^{-6}$	0,3	$0{,}003\times10^{-6}$
40	$0{,}4\times10^{-6}$	4	$0{,}04\times10^{-6}$	0,4	$0{,}004\times10^{-6}$
50	$0{,}5\times10^{-6}$	5	$0{,}05\times10^{-6}$	0,5	$0{,}005\times10^{-6}$
60	$0{,}6\times19^{-6}$	6	$0{,}06\times10^{-6}$	0,6	$0{,}006\times10^{-6}$
—	—	7	$0{,}07\times10^{-6}$	0,7	$0{,}007\times10^{-6}$
—	—	8	$0{,}08\times10^{-6}$	0,8	$0{,}008\times10^{-6}$
—	—	9	$0{,}09\times10^{-6}$	0,9	$0{,}009\times10^{-6}$
—	—	10	$0{,}10\times10^{-6}$	1,0	$0{,}010\times10^{-6}$

Introducînd în formula anterioară, valoarea lui R_3 citită pe punte și a lui C_4 determinată în modul arătat, se obține tg δ, pentru transformatorul de tensiune respectiv.

Este recomandat să se execute următoarele măsurări:

a) Între înfășurarea primară pe de o parte și începutul înfășurărilor secundare legate între ele (bornele *1a* și *2a*), pe de altă parte (fig. 5.6, *a* și fig. 5.7, *a*).

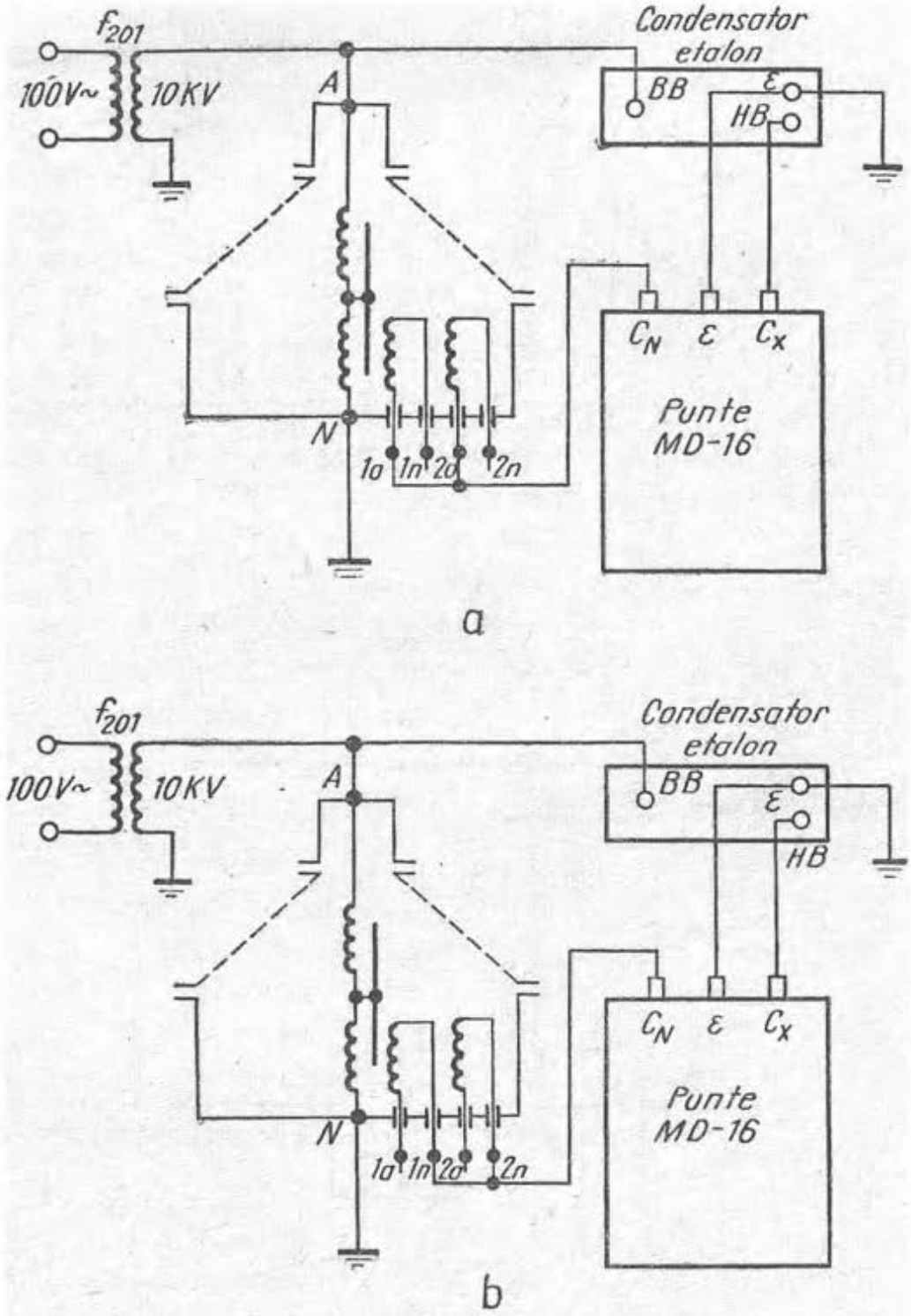
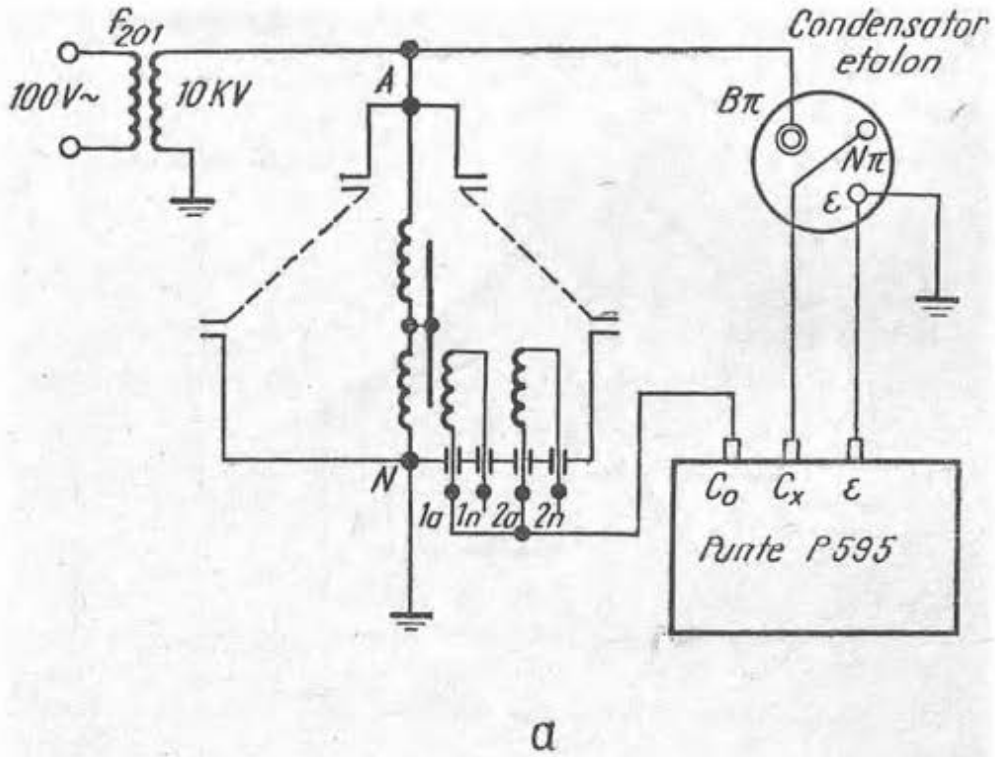
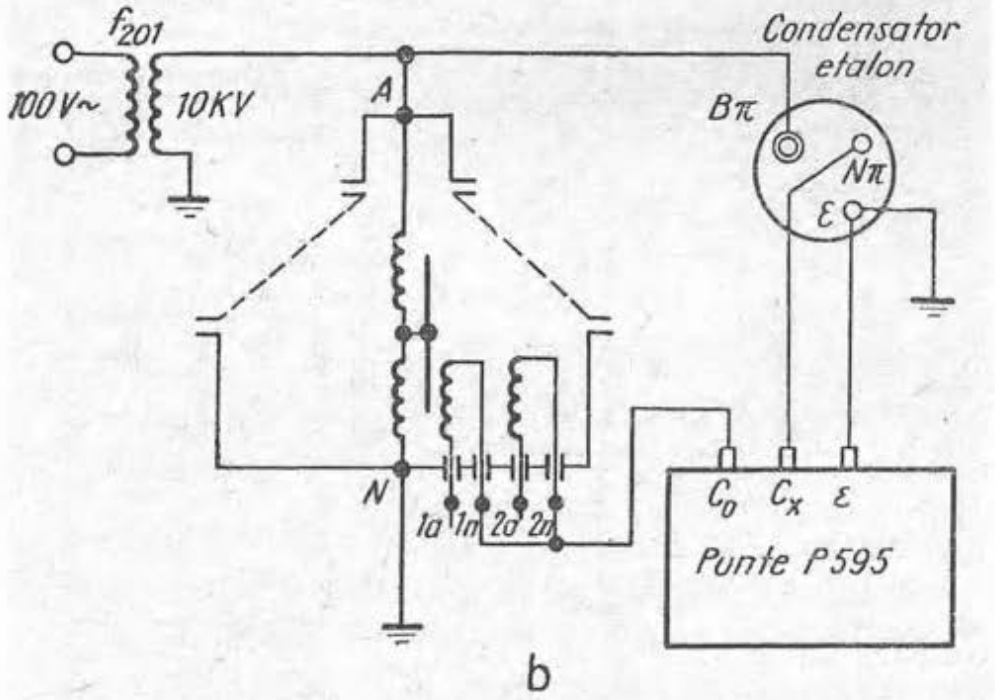

f201
100V~
10KV
A
Condensator
etalon
BB
ε
HB
CN
ε
Cx
Punte
MD-16
N
1a
1n
2a
2n
a
f201
100V~
10KV
A
Condensator
etalon
BB
ε
HB
CN
ε
Cx
Punte
MD-16
N
1a
1n
2a
2n
b

Fig. 5.6.


f201
100V~
10KV
A
Condensator
etalon
Bπ
Nπ
ε
N
1a
1n
2a
2n
Co
Cx
ε
Punte P595

a


f201
100V~
10KV
A
Condensator
etalon
Bπ
Nπ
ε
N
1a
1n
2a
2n
Co
Cx
ε
Punte P595

b

Fig. 5.7.

b) Între înfășurarea primară pe de o parte și sfîrșitul înfășurărilor secundare legate între ele (bornele *1n* și *2n*). pe de altă parte (fig. 5.6, *b* și fig. 5.7, *b*).

Rezultatul ce se ia în considerare este dat de media aritmetică a celor două măsurări. Prin executarea probei în cele două variante, se urmărește eliminarea erorilor datorate stării bornelor.

Dacă se utilizează o punte MD-16, ea se conectează ca în fig. 5.6. La executarea măsurărilor cu această punte, șuntul trebuie să fie pe poziția 0,01.

Dacă se utilizează o punte Schering P 595, ea se conectează în fig. 5.7. La executarea măsurărilor cu această punte, comutatorul A trebuie să se găsească pe poziția — tg δ, obținîndu-se astfel punerea în paralel a rezistenței R_4, cu capacitatea C_4. Comutatorul B trebuie să fie așezat pe domeniul de măsurare $3 \times 10^{-5} \div 6 \times 10^{-3}$ μF.

Dacă datorită diverselor influențe exterioare puntea nu poate fi echilibrată, se recurge la metodele indicate pentru această situație la verificarea similară executată asupra transformatoarelor de curent.

De regulă rezultatele măsurărilor se compară cu cele inițiale. Cînd acestea lipsesc, pot fi luate în considerare valorile din tabelul 5.3.

Tabelul 5.3

Ocazia verificării	tg δ în funcție de tensiunea de încercare	
	10 kV	60 kV
PIF sau recondiționări	0,018	0,020
Exploatare	0,030	0,035

Utilizarea tensiunii de încercare de 60 kV, deși recomandată nu este posibilă decît în condițiile în care se dispune de truse și condensatoare etalon, special dimensionate pentru această tensiune.

5.2.4. *Încercarea izolației înfășurărilor secundare cu tensiune alternativă mărită*

Modul de efectuare a probei este asemănător cu cel prezentat la transformatoarele de curent. Singura deosebire constă în faptul că încercarea se execută cu 2 kV timp de un minut, indiferent de tensiunea primară a transformatorului de tensiune.

5.2.5. *Încercarea izolației înfășurărilor primare cu tensiune alternativă mărită*

În funcție de tipul izolației principale, proba se execută în mod diferit.

Tensiunile de încercare pentru transformatoarele de tensiune de fabricație românească sînt indicate în tabelul 5.4.

Tabelul 5.4

U_{pN} [kV]	0,5	6	10	15	20	25	30	35	60	110	220	400
U_{inc} [kV]	2,5	19,8	25,2	34,2	45	54	63	72	126	207 166*	414	610

În acest tabel, valoarea notată cu asterisc este valabilă pentru TEMU-110 kV cu nivel de izolație redus.

5.2.5.1. **Încercarea cu tensiune alternativă mărită a transformatoarelor de tensiune cu izolație plină.** a) *Încercarea izolației exterioare și a înfășurării primare față de soclu (cuvă).* Proba se execută utilizînd montajul din fig. 5.8, unde T reprezintă o instalație de înaltă tensiune alternativă.

După cum se observă, tensiunea se aplică între bornele înfășurării primare scurtcircuitate și cele ale înfășurărilor secundare scurtcircuitate și legate la pămînt (cuvă).

Pentru efectuarea probei, se aplică brusc o tensiune inițială de cel mult 50% din tensiunea de încercare, după care aceasta este crescută continuu sau în trepte de maxim 5% pînă la valoarea de încercare, în minim 10 secunde și maxim 30 secunde.

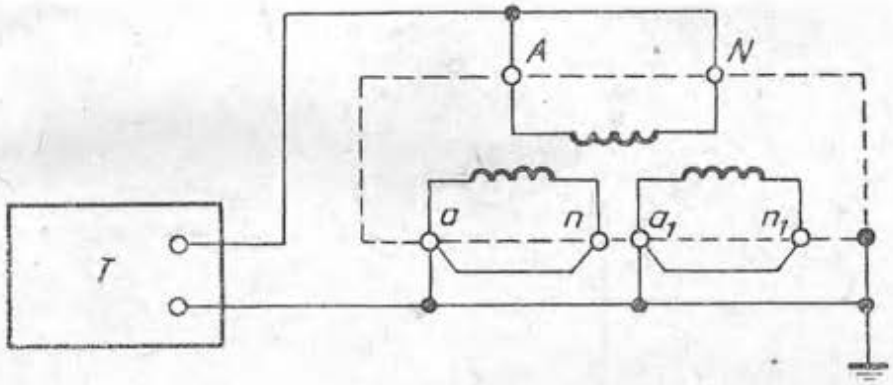


Fig. 5.8.

Transformatorul este considerat corespunzător dacă rezistă la tensiunea de încercare impusă (tabelul 5.4), timp de 1 minut, fără a se produce străpungeri, conturnări sau zgomote suspecte în interior.

b) *Încercarea izolației dintre spire.* Pentru efectuarea probei se utilizează metoda tensiunii induse. Transformatorul supus la încercarea cu tensiune indusă se alimentează pe una din înfășurările secundare (fig. 5.9).

La executarea încercării este necesar ca o bornă a înfășurării primare, cîte una a înfășurărilor secundare, precum și cuva (soclul), să fie legate la pămînt.

Măsurarea tensiunii induse se face cu ajutorul divizoarelor de tensiune, a voltmetrelor electrostatice etc., pe partea primară a transformatoarelor de tensiune.

Pentru ca în timpul încercării să nu aibă loc saturarea miezului, fapt care ar putea genera deteriorarea înfășurării

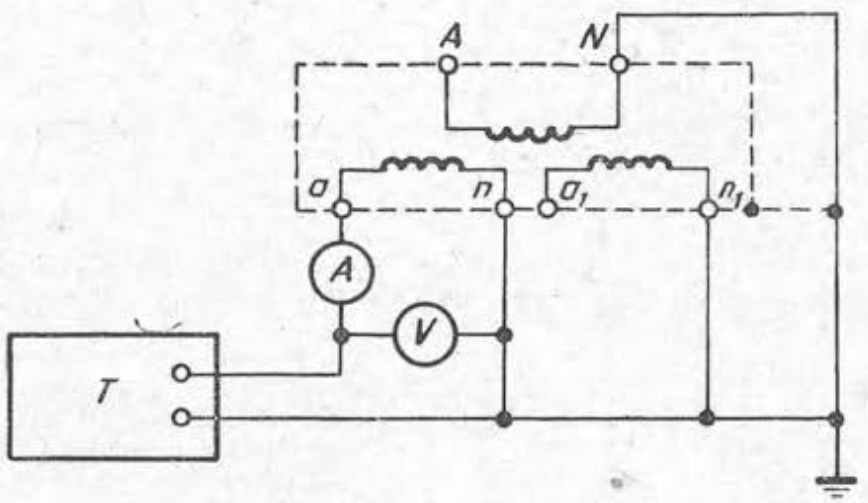


Fig. 5.9.

secundare alimentate (din cauza curentului mare de magnetizare), este recomandat ca proba să nu se execute la frecvența de 50 Hz, ci la o frecvență cuprinsă între 100 și 300 Hz.

Dacă încercarea se face la 100 Hz, durata probei este de 1 minut. Pentru frecvențe diferite de această valoare, durată încercării se determină cu formula :

$$t = 60 \frac{2f_N}{f_z}$$

în care f_N este frecvența nominală [50 Hz] ; f_z — frecvența aplicată.

Timpul de verificare nu trebuie să fie însă sub 30 secunde [42].

În timpul probei, nu trebuie să apară străpungeri sau conturnări ce pot fi observate vizual sau auditiv. O creștere a curentului de magnetizare peste limitele normale reprezintă o dovadă a existenței unui scurtcircuit între spire.

5.2.5.2. **Încercarea cu tensiune alternativă mărită a transformatoarelor de tensiune cu izolație degresivă.** În această grupă intră transformatoarele de tensiune inductive monofazate care, în mod normal în exploatare, trebuie să aibă un capăt al înfășurării primare legat la pământ.

La unele transformatoare de tensiune de acest tip, capătul înfășurării primare ce se leagă la pământ se află scos la o bornă specială, izolată față de cuvă. Ea poate fi racordată la pământ numai prin intermediul unui conductor. La alte transformatoare de tensiune, acest capăt nu mai este accesibil, conexiunea cu pământul făcîndu-se prin legarea lui la soclul metalic, care la montaj se conectează în mod obligatoriu la pământ.

Încercarea izolației externe, cum și a celei interne, la transformatoarele cu izolație degresivă se poate executa simultan, utilizînd metoda tensiunii induse (fig. 5.9). Modul de lucru și interpretarea rezultatelor este asemănătoare cu cel descris anterior, cu condiția ca sfîrșitul înfășurării primare să fie conectat la pământ. Efectuarea încercării fără a lua în considerare acest lucru poate duce la străpungerea izolației și la accidente grave.

Dacă înfășurarea primară este prevăzută cu bornă de legare la pământ accesibilă, verificarea izolației acesteia se

face aplicîndu-i o tensiune de 2 kV timp de 1 minut, după ce în prealabil, conexiunea cu pămîntul (soclul) a fost deconectată.

5.2.5.3. **Încercarea cu tensiune alternativă mărită a transformatoarelor de tensiune capacitivă.** În această categorie intră transformatoarele de tensiune de 110—400 kV. Încercarea lor se execută în fabrică sau în atelierele specializate, după reparații.

5.2.6. *Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor*

La transformatoarele de tensiune inductive, proba se execută pentru fiecare înfășurare în parte, inclusiv cea primară.

La transformatoarele de tensiune capacitive, proba se execută numai pentru înfășurările secundare (vezi § 4.2.6).

5.2.7. *Verificarea polarității înfășurărilor*

Proba se execută în aceleași condiții și în același mod ca la § 4.2.7, numai pentru transformatoarele de tensiune inductive.

Polaritatea este corectă dacă la închiderea întreruptorului *b* (fig. 5.10), acul milivoltmetrului *mV* deviază mai întîi spre dreapta și apoi revine la zero.

La deschiderea întreruptorului, acul trebuie să devieze mai întîi la stînga și apoi să revină la zero.

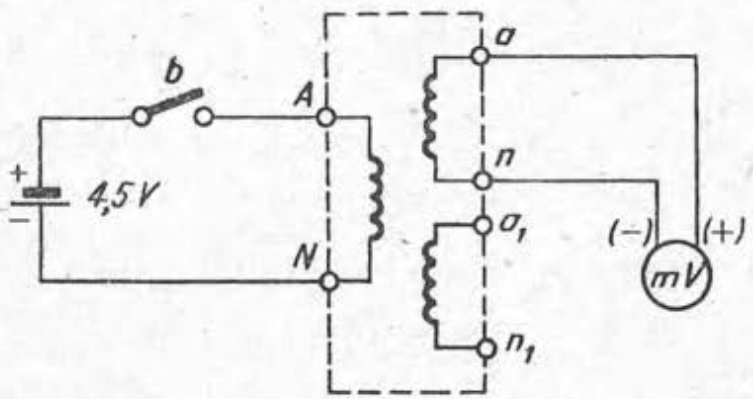


Fig. 5.10.

5.2.8. *Verificarea raportului de transformare*

Pentru transformatoarele de tensiune sub 0,66 kV inclusiv, se poate utiliza metoda directă (fig. 5.11).

Autotransformatorul AT, de 250V/8 A, debitează pe secundarul unui transformator ridicător f_{201R}, care la rîndul său, aplică o tensiune primarului transformatorului de verificat, f_{201V}.

Măsurările se execută direct cu ajutorul voltmetrelor V_1 și V_2 de clasă 0,2 sau 0,5, raportul de transformare fiind dat de relația :

$$K_U = \frac{U_{V1}}{U_{V2}},$$

în care U_{V1} și U_{V2} sînt tensiunile măsurate în primarul, respectiv secundarul lui f_{201V}. Proba se repetă pentru fiecare secundar în parte.

Este recomandat ca măsurările să se execute pentru 0,8 U_{pN} ; U_{pN} și 1,2 U_{pN}.

Pentru transformatoarele cu tensiunea primară mai mare de 0,66 kV, se utilizează de regulă metoda indirectă, care față de montajul precedent presupune existența și a unui transformator de tensiune etalon, f_{201E} (fig. 5.12).

Măsurările se execută în secundarul transformatorului etalon f_{201E} și al celui verificat f_{201V}. Dacă raportul de transformare al transformatorului etalon este K_{Ue}, raportul de

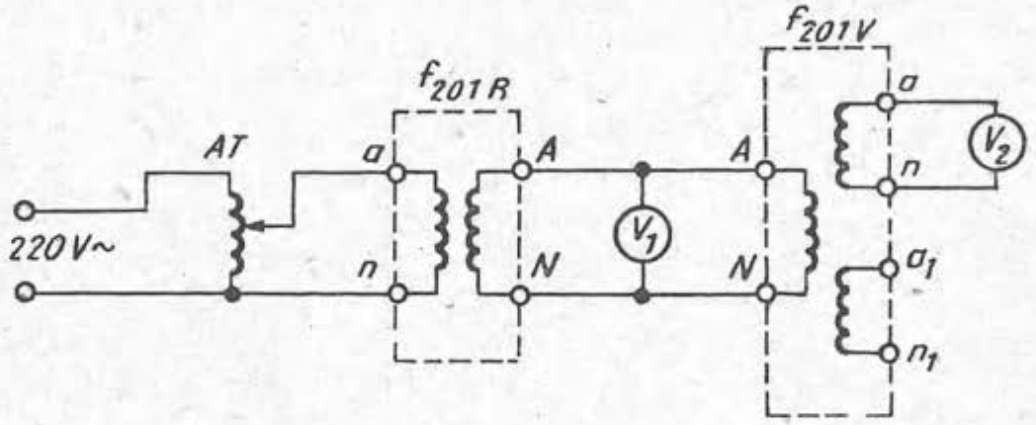


Fig. 5.11.

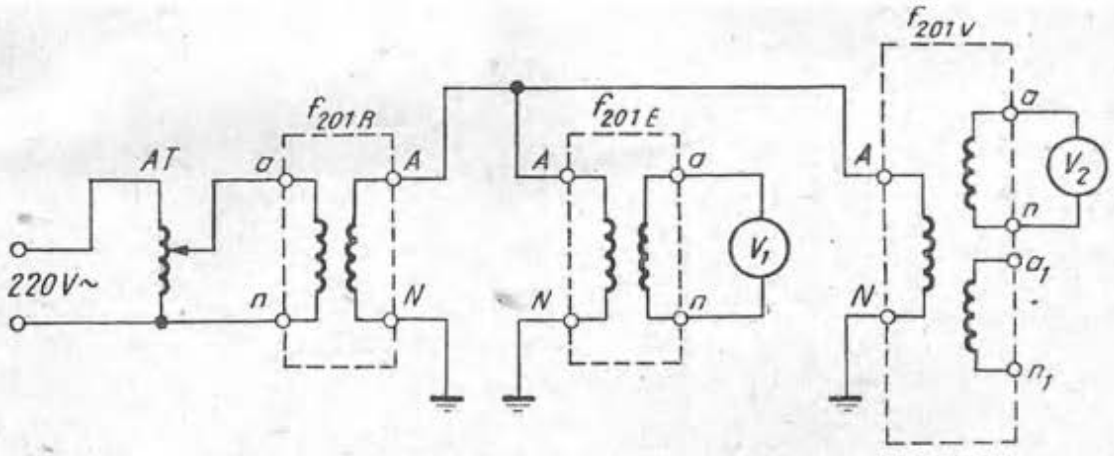


Fig. 5.12.

transformare al transformatorului ce se verifică este dat de relația :

$$K_U = \frac{K_{Ue} \cdot U_{V1}}{U_{V2}},$$

în care U_{V1} și U_{V2} reprezintă tensiunile citite la voltmetrele V_1 și V_2.

Ca și mai sus, este recomandat ca proba să se execute pentru 0,8 U_{PN} ; U_{PN} și 1,2 U_{PN}.

Rezultatele măsurărilor se compară cu cele din buletinul de fabrică sau cu cele de pe plăcuța transformatorului. Dacă apar diferențe, acestea sînt o urmare a unor scurtcircuite între spirele înfășurării primare sau secundare, slăbirii strîngerii tolelor sau a legăturilor la borne, întreruperii înfășurărilor, etc.

5.2.9. *Determinarea erorilor de unghi și de raport*

Proba se execută ca la § 4.2.9, utilizînd metode de compensare sau metode diferențiale.

Erorile tolerate ale transformatoarelor de tensiune (STAS 4323-70), sînt date în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5

Clasa de precizie	Erori tolerate		Condiții de încărcare
	Eroarea de tensiune ε_u[%]	Eroarea de unghi δ_u[min]	
0,1	±0,1	± 0,5	— tensiuni : $U_1 = (0{,}8 \ldots 1{,}2) U_{pN}$, — frecvența : 50 Hz — Sarcina secundară : $(0{,}25 \div 1) S_N \cdot \left(\frac{U_N}{U_{pN}}\right)^2$ și $\cos \varphi = 0{,}8$
0,2	±0,2	±10	
0,5	±0,5	±20	
1,0	±1,0	±40	
3,0	±3,0	—	

5.2.10. *Ridicarea caracteristicii de mers în gol*

Proba se efectuează utilizînd montajul din fig. 5.13, în care AT este un autotransformator de 250 V/8 A.

Se crește tensiunea în trepte, între 0 și 1,3 U_{SN}, din zece în zece sau din douăzeci în douăzeci de volți, măsurîndu-se de fiecare dată curentul de mers în gol.

Rezultatele se trec într-un tabel. Curentul de mers în gol, pentru U_{SN}, va trebui să fie egal cu cel din buletinele de fabrică sau cu cel obținut la transformatoare similare.

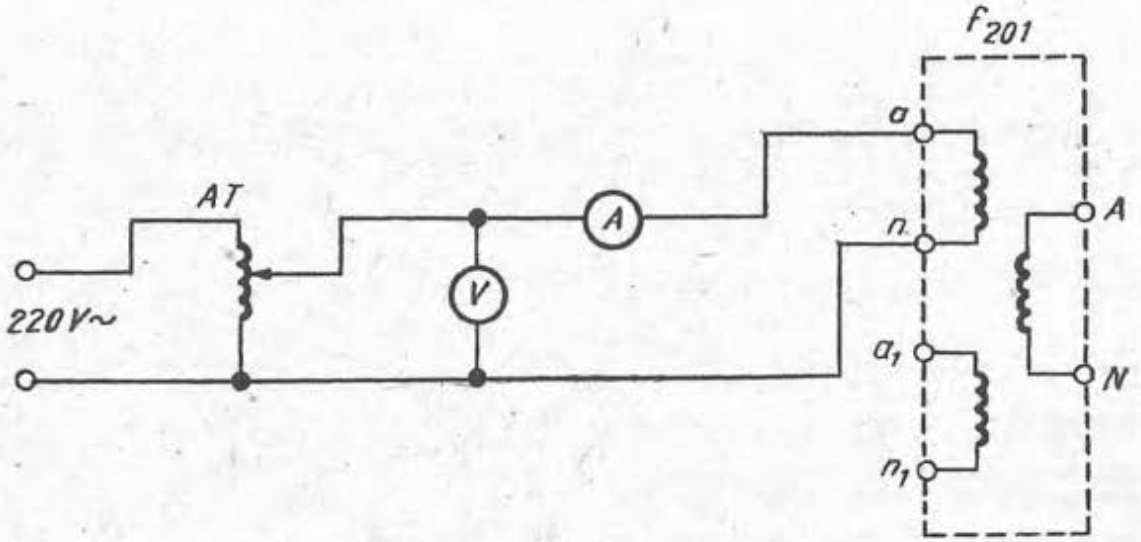


Fig. 5.13.

Proba se repetă pentru fiecare înfăşurare secundară în parte. În timpul probei atît primarul cît şi înfăşurările secundare care nu se verifică vor rămîne deschise.

Datorită tensiunilor induse în primar, vor trebui respectate cu stricteţe indicaţiile de la cap. 14.

5.2.11. *Măsurarea sarcinii secundare*

Proba se efectuează utilizînd montajul din fig. 5.14, prin aplicarea pe bucla de măsurare a unei tensiuni de 3 × × 100 V între faze.

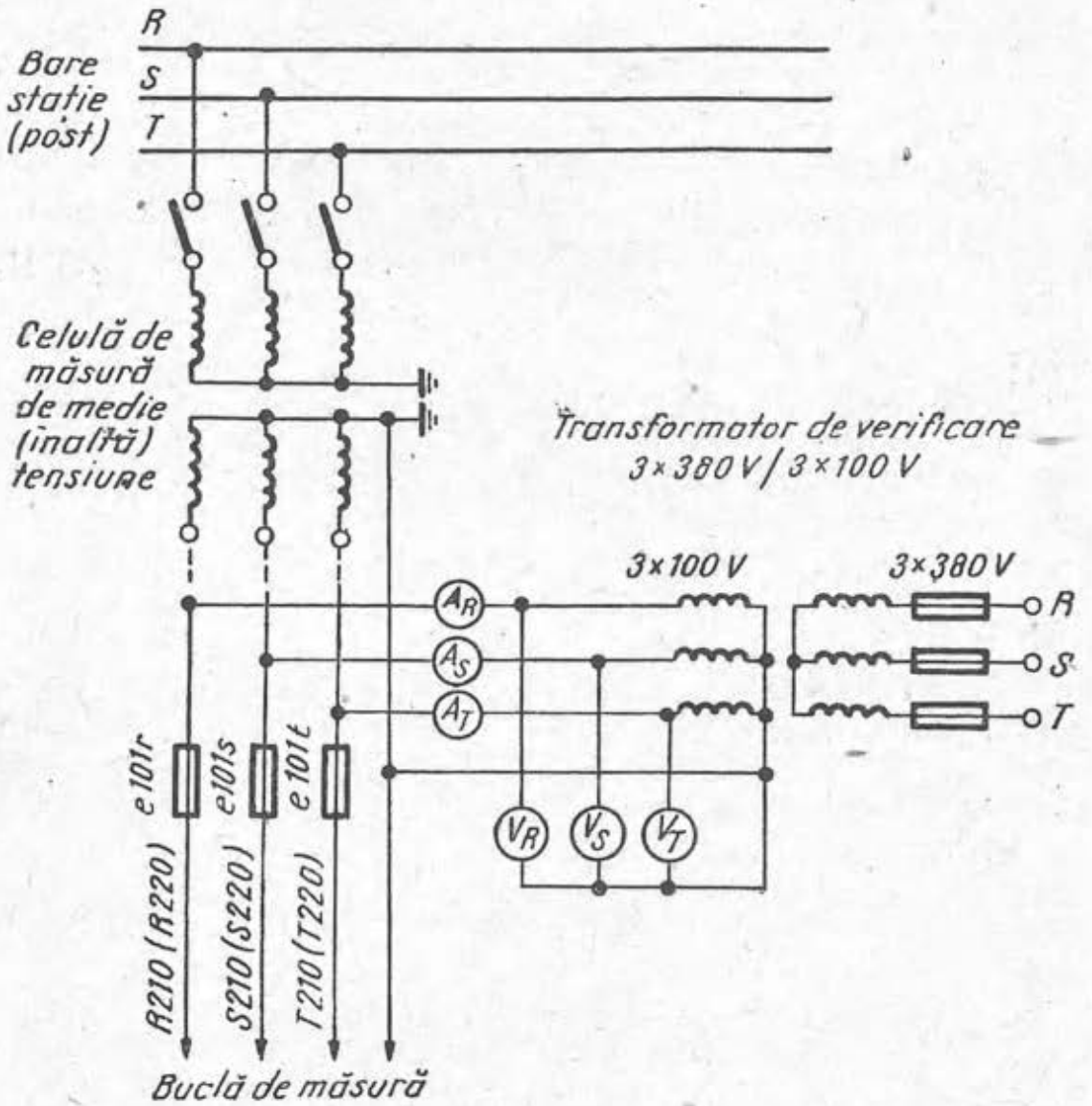


Fig. 5.14.

Această tensiune este obținută de la un transformator trifazat de $3 \times 380/3 \times 100$ V.

Pentru a nu alimenta invers transformatoarele de tensiune din celula de măsurare, este necesar ca firele ce vin de la secundarele acestora să fie scoase din șirul de cleme și lăsate libere. Ca măsură suplimentară de protecție, se deconectează separatorul sau siguranțele de înaltă tensiune din primarele transformatoarelor de tensiune.

Dacă stația sau postul de transformare are bare duble, bare simple secționate longitudinal etc., există cîte o celulă de măsurare pe fiecare secție. În acest caz trebuie avut în vedere că în situația închiderii unor cuple sau a formării unor cuple de separatoare, buclele de pe un sistem de bare se unesc în mod automat cu cele de pe celălalt sistem de bare, existînd deci riscul să fie alimentate invers și alte celule de măsurare, în afara celei la care se execută proba.

Măsurările propriu-zise se efectuează determinînd curentul și tensiunea pe fiecare fază a buclei cu ajutorul ampermetrelor A_R, A_S, A_T și voltmetrelor V_R, V_S, V_T. Sarcina secundară pe fază se determină cu formula :

$$S_{R(S,T)} = U_{R(S,T)} \cdot I_{R(S,T)} \quad [\text{VA}].$$

Aceasta nu trebuie să depășească valoarea înscrisă pe plăcuța de date a transformatorului, pentru clasa de precizie respectivă.

Pentru a nu obține rezultate eronate este necesar ca toate celulele (de linie, transformator, cuplă etc.) ce se pot alimenta la un moment dat din bucla respectivă să fie racordate la ea.

Pe lîngă măsurarea sarcinii secundare, alimentarea buclei de măsurare ca în fig. 5.14 oferă și posibilitatea unor verificări concrete a modului cum sînt alimentate aparatele de măsurat, protecție și sincronizare în stația sau postul respectiv.

6. Motoare electrice de curent alternativ Caracteristici, verificări

6.1. Generalități, caracteristici

Principalele caracteristici tehnice ale motoarelor de curent alternativ (motoare sincrone și asincrone) sînt :

a) *Tensiunea nominală* [V]. Reprezintă tensiunea aplicată între bornele de conectare ale mașinii la rețea, în regim nominal de funcționare.

b) *Tensiunea de excitație* [V]. Reprezintă tensiunea aplicată la bornele sau inelele de contact ale înfășurării de excitație.

c) *Curentul nominal* [A]. Este curentul absorbit de motor de la rețea, în regim nominal de funcționare.

d) *Puterea nominală* [kW ; W ; kVA sau VA]. Este puterea furnizată de motor în regim nominal de funcționare.

e) *Factorul de putere*. Reprezintă raportul dintre puterea activă și cea aparentă absorbită, sistemele de tensiuni și curenți fiind practic simetrice.

f) *Turația nominală*. Este turația mașinii în regim nominal de funcționare.

g) *Randamentul*. Reprezintă raportul dintre puterea utilă și cea absorbită.

h) *Frecvența* [Hz]. Este frecvența la care funcționează mașina.

— La motoarele electrice trifazate, marcarea extremităților libere ale înfășurărilor din stator se face cu literele $U - V - W$, pentru cele trei faze și N, pentru neutru.

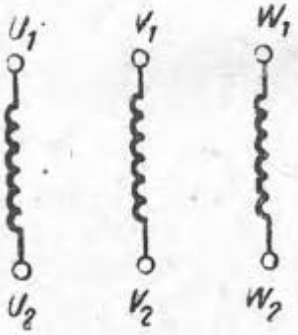
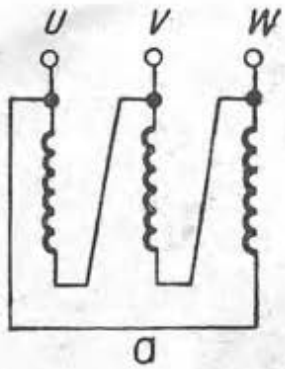


Fig. 6.1.



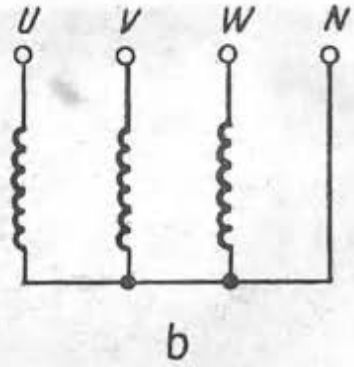


Fig. 6.2.

În fig. 6.1, este prezentat modul de marcare a unei înfășurări cu 6 extremități libere scoase la plăcuța de borne. Indicele 1 indică începutul, iar indicele 2, sfîrșitul înfășurării de pe faza respectivă.

În fig. 6.2, *a* s-a reprezentat modul de marcare a unei înfășurări în triunghi, cu 3 extremități libere scoase la placa de borne, iar în fig. 6.2, *b* s-a reprezentat modul de marcare a unei înfășurări în stea, cu 4 extremități libere scoase la placa de borne.

Extremitățile libere ale înfășurărilor din rotorul mașinilor trifazate cu rotor bobinat, se marchează în același sistem ca al înfășurărilor din stator, înlocuind :

— litera U prin litera K ;
— litera V prin litera L ;
— litera W prin litera M ;
— litera N prin litera Q.

În această marcare, se consideră că înfășurarea primară se găsește pe stator. Dacă ea se găsește pe rotor, literele $U-V-W-N$ se vor folosi pentru înfășurările rotorului, iar literele $K-L-M-Q$, pentru cele ale statorului.

În cazul înfășurărilor care au cele 6 extremități ale celor trei faze scoase la placa de borne și cîte 2 prize intermediare pe fază, marcarea este cea indicată în fig. 6.3.

La motoarele care au înfășurările secționate pe fiecare fază în 2 jumătăți (pentru a da posibilitatea efectuării unor cuplaje serie-paralel), marcarea celor 12 extremități libere scoase la placa de borne se face ca în fig. 6.4.

— La mașinile bifazate, marcarea extremităților libere din statorul și rotorul acestora se face prin derivarea din

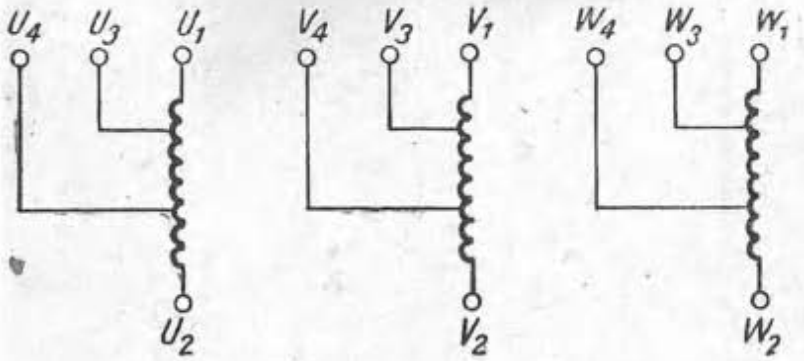


Fig. 6.3.

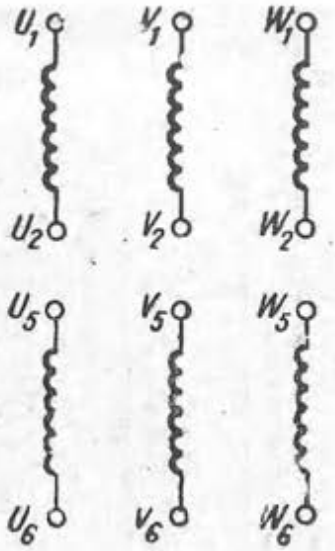


Fig. 6.4.

sistemul utilizat la mașinile trifazate, eliminînd literele W și M.

— La mașinile monofazate, marcarea extremităților libere ale înfășurărilor statorice se face după cum urmează :

a) înfășurarea principală cu litera U(U_1 începutul, U_2 sfîrșitul înfășurării) ;

b) înfășurarea auxiliară cu litera Z(Z_1 începutul, Z_2 sfîrșitul înfășurării).

Extremitățile libere scoase la placa de borne ale înfășurării de excitație în curent continuu a mașinilor sincrone se marchează cu litera F(F_1 începutul și F_2 sfîrșitul înfășurării).

Lămuriri suplimentare în privința marcării bornelor se pot obține din STAS 3530-71.

6.2. Verificarea motoarelor electrice de curent alternativ

În tabelul 6.1, sînt prezentate principalele probe la care sînt supuse motoarele electrice de curent alternativ, precum și momentul efectuării lor.

Tabelul 6.1

Nr. crt. probă	Denumirea probei	Momentul efectuării probei					Observaţii, alte momente de efectuare a probei
		PIF	RC_2	RT	RK	IÎ	
6.2.1	Măsurarea rezistenţei de izolaţie a înfăşurărilor	X	X	—	X	X	—
6.2.2	Măsurarea rezistenţei de izolaţie a lagărelor	X	—	X	X	—	— Intervenţii la lagăre — Odată pe lună în timpul funcţionării
6.2.3	Măsurarea rezistenţei de izolaţie a traductoarelor de temperatură	X	—	—	—	—	— Intervenţii la înfăşurările statorice — Intervenţii la traductoare
6.2.4	Încercarea izolaţiei înfăşurărilor cu tensiune alternativă mărită**	X	—	—	—	X	—
6.2.5	Măsurarea rezistenţei de izolaţie a dispozitivelor de pornire, reglaj şi stingere a cîmpului	X	—	—	—	—	Intervenţii la dispozitivele de pornire, reglaj şi stingere a cîmpului
6.2.6	Măsurarea rezistenţei ohmice a înfăşurărilor**	X	—	—	—	X	—
6.2.7	Măsurarea rezistenţei ohmice a reostatelor de pornire şi reglaj şi a rezistenţelor de stingere	X	—	—	—	—	Intervenţii la dispozitivele menţionate
6.2.8	Încercarea de mers în gol	X	—	—	—	X	—
6.2.9	Determinarea parametrilor electrici la pornire	—	—	—	—	X	Schimbarea caracteristicilor mecanismului antrenat
6.2.10	Măsurarea întrefierului dintre stator şi rotor	X*	—	—	—	—	Intervenţii la polii motoarelor cu poli înecaţi sau aparenţi
6.2.11	Măsurarea vibraţiilor în lagăre**	X	—	—	—	—	Intervenţii la rotor

În tabelul 6.1 :

* Proba se execută numai la motoarele care se transportă demontate ;

** Proba este obligatorie pentru mașinile cu puteri nominale mai mari sau egale cu 50 kW.

IÎ — intervenții la înfășurări.

Semnificația celorlalte notații este indicată la § 1.3 și 2.3.

6.2.1. *Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor*

Rezistența de izolație se măsoară cu ajutorul unui megohmmetru, între fiecare circuit electric independent și celelalte circuite electrice legate la carcasa motorului și la pământ.

Prin circuit electric independent se înțelege orice circuit care are borne separate de început și de sfîrșit.

La înfășurările închise ale rotoarelor mașinilor cu colector, care nu au borne distincte, se consideră drept început orice punct de legătură al înfășurării la colector.

Dacă mașina dispune de înfășurări care în timpul exploatării sînt legate direct sau prin condensatoare electrice la carcasa ei, în timpul măsurării rezistenței de izolație, se va avea grijă să fie deconectate conexiunile dintre aceste înfășurări și condensatoare sau carcasă.

În funcție de tensiunea nominală a înfășurării a cărei rezistență de izolație se măsoară, se vor utiliza megohmmetrele specificate în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2

Tensiunea nominală a înfășurării	Tensiunea megohmmetrului
$U < 500$ V	500 V
500 V $\leqslant U < 3\,000$ V	1 000 V
$U > 3\,000$ V	2 500 V

Rezistența de izolație va trebui să fie cel puțin egală cu valoarea obținută din formula :

$$R_{iz} = \frac{KU}{1\,000 + 0{,}01\,P} \qquad [M\Omega]$$

dar nu mai mică de 0,5 MΩ. În această formulă U [V] este tensiunea nominală a înfășurării ; P [kVA] — puterea nominală a mașinii ; K — coeficient de variație a rezistenței de izolație cu temperatura. El poate lua una din valorile indicate în tabelul 6.3.

Tabelul 6.3

Temperatura (°C)	75°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°
K	1,0	1,2	1,8	2,6	3,9	5,5	8,5	12

După terminarea fiecărei operații de măsurare a rezistenței de izolație, se recomandă ca circuitele respective să fie descărcate la carcasa mașinii legată la pământ. Durata descărcării este apreciată la cel puțin 15 s, pentru înfășurările cu tensiunea nominală de 3 000 V și puterea pînă la 1 000 kVA și cel puțin 1 minut, la mașinile cu puterea peste 1 000 kVA.

Pentru înfășurările cu tensiunea nominală de cel puțin 3 000 V, se calculează coeficientul de absorbție :

$$K_{abs} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$$

În această formulă, R_{15} și R_{60} sînt rezistențele de izolație măsurate la 15 respectiv 60 de secunde de la începerea efectuării măsurării. La o izolație corespunzătoare, $K_{abs} \geqslant 1{,}3$.

6.2.2. *Măsurarea rezistenței de izolație a lagărelor*

La mașinile electrice de curent alternativ de putere mare, se izolează unul din lagăre, pentru a evita circulația curenților paraziți ce pot lua naștere în timpul funcționării.

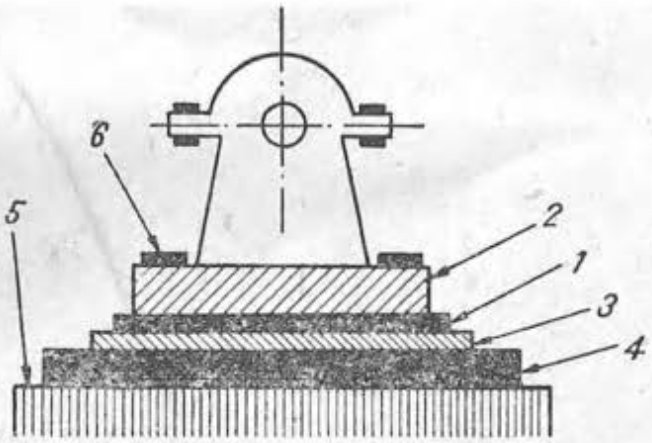


Fig. 6.5.

În fig. 6.5, este prezentat modul de izolare al unui lagăr, în care foaia metalică *3* este izolată din punct de vedere electric de corpul lagărului *2*, prin placa izolantă *1* și de placa de fundație *5*, prin placa izolantă *4*. Buloanele de prindere *6* sînt și ele izolate. Sînt izolate electric și conductele ce asigură agentul de ungere al lagărului respectiv.

În funcție de starea mașinii, proba se poate executa în două moduri :

6.2.2.1. **Mașina se află în stare de repaus.** În această situație se măsoară rezistența de izolație cu ajutorul unui megohmmetru de 500 V, conectat între placa metalică *3* și corpul lagărului *2*, pe de o parte și între placa metalică *3* și placa de fundație *5*, pe de altă parte (fig. 6.5).

Valoarea obținută nu trebuie să fie mai mică decît 50% din valoarea măsurată la ultima punere în funcțiune. Dacă nu se dispune de această valoare, rezistența de izolație a lagărului se consideră suficientă, dacă ea este de minimum 1 MΩ/ [59].

6.2.2.2. **Mașina se află în stare de funcționare.** În această situație se execută două măsurări cu ajutorul unui voltmetru de curent alternativ, conform indicațiilor din fig. 6.6. Voltmetrul trebuie să aibă o rezistență interioară cît mai mare.

Prima măsurare se execută între lagăr și placa de fundație a mașinii, obținîndu-se o valoare V_1. Pelicula de ulei din lagăr trebuie să fie șuntată. Pentru aceasta, între fiecare lagăr și

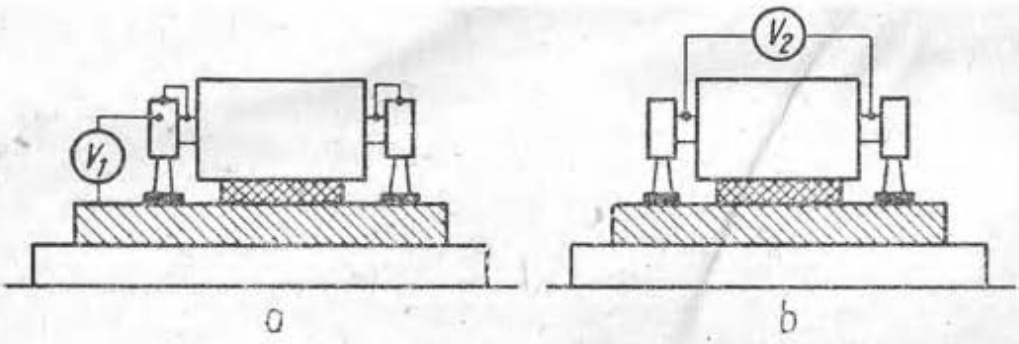


Fig. 6.6.

arbore se montează cîte un contact alunecător (fig. 6.6, *a*).

A doua măsurare se execută între capetele arborelui (fig. 6.6, *b*), obținîndu-se valoarea V_2. Dacă cele două valori sînt aproximativ egale, rezultă că rezistența de izolație a lagărului este bună. Dacă tensiunea V_1 este mult mai mică decît tensiunea V_2, lagărul are rezistența de izolație deteriorată.

6.2.3. *Măsurarea rezistenței de izolație a traductoarelor de temperatură*

Rezistența de izolație se măsoară cu ajutorul unui megohmmetru de maxim 250 V, pentru a nu străpunge izolația traductoarelor.

Tensiunea de încercare se aplică între bornele diferitelor traductoare și înfășurările mașinii legate la corpul ei și la pămînt. Valoarea obținută nu trebuie să fie mai mică de 0,5 MΩ.

6.2.4. *Încercarea izolației înfășurărilor cu tensiune alternativă de 50 Hz*

Tensiunea de încercare se aplică între fiecare circuit electric independent și celelalte legate la carcasa mașinii și la pămînt.

Motorul trebuie să fie deconectat de la rețea. Dacă el este prevăzut a funcționa cu condensatoare ce nu suportă

tensiunea de încercare a înfășurării, acestea vor fi deconectate, pentru a nu fi deteriorate în timpul probei.

Pentru înfășurările statorice, valoarea tensiunii de încercare se calculează cu formula :

$$U_{inc} = K(2U_N + 1\,000) \quad [V].$$

Tensiunea rezultată din formula de mai sus nu trebuie însă să fie mai mică de 1,5 kV. În formulă U_N este tensiunea nominală a înfășurării ; K — un coeficient care poate lua una din valorile indicate în tabelul 6.4.

Tabelul 6.4

K	Momentul sau locul efectuării probei
1	În fabrică
1	Pentru partea de înfășurare înlocuită
0,85	PIF
0,75	Pentru toată înfășurarea, după reparația parțială

Pentru înfășurarea rotorică a motoarelor sincrone, tensiunea de încercare este :

$$U_{inc} = 10U_i\,[V], \text{ dar } 1\,500 \text{ V} \leqslant U_{inc} \leqslant 3\,500 \text{ V}.$$

Pentru înfășurarea rotorică a motoarelor asincrone cu rotor bobinat, tensiunea de încercare este :

$$U_{inc} = 2U_i + 1\,000 \quad [V].$$

În ultimele două formule, U_i este tensiunea măsurată în circuit deschis între inelele rotorului, mașina fiind în stare de repaus cu înfășurarea statorică alimentată la tensiunea nominală.

Conform [58], proba începe cu o tensiune care trebuie să fie cel mult jumătate din tensiunea de încercare. Apoi tensiunea se ridică lent sau în trepte ce nu depășesc 5% din aceasta, în cel puțin 10 secunde și cel mult 30 de secunde. În momentul atingerii valorii necesare, tensiunea încercată trebuie menținută timp de 1 minut, după care ea se coboară lent pînă la jumătate din valoare, urmînd ca apoi să fie deconectată.

Rezultatul încercării se consideră satisfăcător dacă nu se produce străpungerea izolației, nu apar efluvii sau zgomote suspecte care ar putea indica o izolație deteriorată.

Atît înainte cît și după încercarea cu tensiune alternativă mărită este necesară verificarea rezistenței de izolație.

6.2.5. *Încercarea rezistenței de izolație a dispozitivelor de pornire, reglaj și stingere a cîmpului*

Proba se execută cu ajutorul unui megohmmetru. În funcție de tensiunea nominală a dispozitivului, tensiunea megohmmetrului utilizat este cea indicată în tabelul 6.2.

Înaintea începerii probei se deconectează legăturile electrice dintre dispozitivul verificat și motor sau alte aparate.

Rezistența de izolație măsurată nu trebuie să fie mai mică de 0,5 MΩ.

6.2.6. *Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor*

Pentru efectuarea măsurătorilor se pot utiliza punți Wheatstone, Thompson sau metoda ampermetrului și voltmetrului.

La motoarele mari, cu puteri de ordinul sutelor sau miilor de kW (kVA), se recomandă ca rezistența ohmică a înfășurărilor să se obțină ca o medie aritmetică a cel puțin 3 sau chiar 5 măsurări, efectuate la diverse valori ale curentului de încercare, trecînd de la valorile mari, către cele mici. În acest caz, fiecare determinare nu trebuie să difere cu mai mult de $\pm$ 0,5%, față de valoarea medie calculată.

În funcție de tipul înfășurării (conexiune în stea cu neutrul accesibil sau inaccesibil, conexiune în triunghi, etc.) pentru determinarea rezistențelor pe fază se folosește una din metodele de la § 3.3.6. Valorile obținute nu trebuie să difere cu mai mult de 5% între faze și față de datele inițiale, raportate la aceeași temperatură.

6.2.7. *Măsurarea rezistenței ohmice a reostatelor de pornire și reglaj și a rezistențelor de stingere a cîmpului*

După deconectarea tuturor legăturilor electrice dintre dispozitivul verificat și motor sau alte aparate, se măsoară rezistențele ohmice pe fiecare plot prin una din metodele descrise anterior.

Rezultatele nu trebuie să difere față de cele de referință cu mai mult de $\pm$ 10%, la aceeași temperatură de măsurare.

6.2.8. *Încercarea de mers în gol*

6.2.8.1. **Încercarea de mers în gol a motoarelor asincrone.** Conform [5] în cadrul încercării se urmărește determinarea curentului de mers în gol I_0.

În timpul probei motorul nu trebuie să aibă nici un fel de sarcină la arbore.

La motoarele asincrone cu rotorul bobinat, înfășurarea rotorului trebuie scurtcircuitată la inele.

La motoarele asincrone cu mai multe trepte de viteză, încercarea de mers în gol trebuie efectuată pentru fiecare turație nominală.

Alimentarea motorului se face de la o sursă variabilă de tensiune trifazată, între $(1{,}3 \ldots 0{,}2) U_N$.

Înaintea începerii încercării propriu-zise, trebuie efectuat un rodaj în gol la tensiunea nominală, a cărui durată în funcție de puterea motorului este dată în tabelul 6.5.

Tabelul 6.5

Puterea nominală	Durata rodaj [min]
Pînă la 1 kW	10
Peste 1 kW pînă la 10 kW	30
Peste 10 kW pînă la 100 kW	60
Peste 100 kW pînă la 1 000 kW	120
Peste 1 000 kW	240

După terminarea rodajului se aplică o tensiune egală cu 1,3 U_N, măsurîndu-se concomitent cei trei curenți absorbiți pe fiecare fază.

Curentul de mers în gol I_0 pentru tensiunea măsurată se obține ca medie aritmetică a celor trei curenți de pe faze (I_{0A}, I_{0B}, I_{0C}).

Se repetă operația în mod analog, pentru cel puțin 10 valori descrescătoare ale tensiunii de alimentare, U_0. Cu valorile obținute se trasează curba :

$$I_0 = f(U_0).$$

În cadrul unor măsurări mai complexe se poate ridica și curba pierderilor de mers în gol :

$$P_0 = f(U_0)$$

sau curba factorului de putere la mersul în gol :

$$\cos \varphi_0 = f(U_0)$$

în care pentru fiecare valoare a tensiunii de mers în gol,

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\, U_0 I_0}$$

Pentru ridicarea curbelor $P_0 = f(U_0)$ și $\cos \varphi_0 = f(U_0)$ se utilizează montajul celor 2 wattmetre (fig. 3.17, *a*), în cazul motoarelor de mare putere sau montajul celor 3 wattmetre (fig. 3.18), în cazul motoarelor de mică putere (cu curenți nominali mai mici sau egali cu 5 A).

6.2.8.2. **Încercarea de mers în gol a motoarelor sincrone.** Ca și în situația precedentă, motorul nu trebuie să aibă nici un fel de sarcină cuplată la arbore, iar alimentarea sa se face de la o sursă trifazată, a cărei tensiune poate fi variată în limitele $(1{,}3 \ldots 0{,}2) U_N$.

Conform [57], caracteristica de funcționare în gol, în regim de motor, se ridică la un factor de putere egal cu unitatea.

Pentru aceasta, la fiecare valoare a tensiunii se măsoară curentul de excitație corespunzător curentului minim în înfășurarea indusului. Se măsoară de asemenea și curenții pe fiecare fază.

Atît la motorul asincron, cît și la cel sincron, rezultatele nu trebuie să difere cu mai mult de 10% față de datele de referință la aceeași temperatură.

6.2.9. *Determinarea parametrilor electrici la pornire*

Încercarea se execută cu mecanismul de antrenare cuplat și numai pentru motoarele cu $P_N \geqslant 500$ kW.

Se măsoară :

a) *Curentul absorbit la pornire.* Curentul absorbit de motor pe cele trei faze la pornire trebuie să fie aproximativ egal. Se utilizează 3 ampermetre, cîte unul pe fiecare fază.

b) *Timpul de pornire.* Reprezintă timpul scurs de la conectarea sursei, pînă la atingerea turației nominale. Pentru măsurarea timpului se utilizează un cronometru, iar pentru a măsura turația, un tahometru.

c) *Curentul absorbit la turație nominală.* Se măsoară ca la punctul a), după atingerea turației nominale. Datele obținute nu trebuie să difere de cele furnizate de fabrica constructoare.

6.2.10. *Măsurarea întrefierului între stator și rotor*

Proba se execută utilizînd niște calibre speciale (în situația în care lungimea statorului depășește 300 mm).

Conform [5], la motoarele cu poli înecați, pentru o poziție a rotorului se efectuează cîte 4 măsurări în 4 puncte situate la 90° unele de altele. Măsurările se repetă în mod identic, pentru alte 2 poziții ale rotorului, decalate cu cîte 90° față de cea inițială.

La motoarele cu poli aparenți, măsurările se fac sub mijlocul fiecărui pol și se repetă apoi, pentru deplasări succesive cu un pas polar.

Calibrele se introduc la ambele capete ale rotorului. Rezultatele obținute nu trebuie să difere cu mai mult de 10%, față de valoarea medie.

6.2.11. *Măsurarea vibrațiilor în lagăre*

La efectuarea probei se utilizează un aparat special pentru măsurat vibrații, care se compune dintr-un traductor (captator de vibrații) ; aparat de măsurat propriu-zis.

Proba decurge conform indicațiilor din STAS 7536-71.

Vibrațiile nu trebuie să depășească :

— 0,06 mm, la turația de 3 000 rot/min ;

— 0,10 mm, la turația de 1 500 rot/min, sau mai puțin.

7. Cabluri. Caracteristici, verificări

7.1. Generalități

În instalațiile electrice ale stațiilor și posturilor de transformare sînt utilizate cabluri de energie de joasă, medie și înaltă tensiune, precum și cabluri de semnalizare, comandă și control.

Cablurile de energie de joasă și medie tensiune sînt utilizate pentru transportul și distribuția energiei electrice. Ele se clasifică astfel :

— cabluri cu izolație de cauciuc în manta de plumb ;

— cabluri cu izolație de hîrtie impregnată, în manta de plumb ;

— cabluri cu izolație de materiale plastice, în manta de plumb ;

— cabluri cu izolație și manta din materiale plastice.

La aceste cabluri, semnificația literelor din simboluri, este următoarea :

— C — cablu de energie (conductoare din cupru) ;

— A — conductor de aluminiu (la începutul simbolului) ;

— Y — izolație, manta sau înveliș exterior de P.V.C. ;

— 2Y — izolație, manta sau înveliș exterior din polietilenă ;

— H — izolație de hîrtie (cînd este așezat imediat după litera C) ;

— H — strat semiconductor ;
— C — conductor concentric de nul din cupru (a doua literă C din simbol) ;
— CO — conductor concentric de nul din cupru, aplicat ondulat ;
— CE — conductor concentric de nul, la cablurile cu mai multe conductoare, aplicat individual peste fiecare conductor ;
— S — ecran de cupru ;
— E — ecran ;
— SE — la cabluri cu mai multe conductoare, strat semiconductor peste fiecare conductor și peste izolația fiecărui conductor și ecran din cupru peste fiecare conductor (simbolul H se anulează) ;
— P — manta de plumb ;
— Ab — armătură din bandă de oțel ;
— Al — armătură din sîrmă lată de oțel ;
— Ar — armătură din sîrmă rotundă de oțel ;
— I — înveliș exterior de protecție din material fibros impregnat ;
— II — înveliș exterior dublu de protecție din material fibros impregnat și bandă din fibre de sticlă.

Cablurile de semnalizare, comandă și control servesc la transmiterea la distanță a unei mărimi electrice continue sau alternative, cu frecvențe de pînă la 100 Hz.

Ele se clasifică în :

— cabluri de comandă și control, cu izolație de hîrtie în manta de plumb ;
— cabluri de semnalizare, cu izolație de hîrtie impregnată, în manta de plumb ;
— cabluri de semnalizare, cu izolație și manta de P.V.C.

La aceste tipuri de cabluri, semnificația literelor din simboluri este următoarea :

— CC — cabluri de comandă și control ;
— CS — cabluri de semnalizare ;
— H — izolație de hîrtie ;
— Y — izolație în manta de P.V.C. ;
— P — manta de plumb ;
— E — ecran din folie de aluminiu din hîrtie metalizată ;

— Ab — armătură din benzi de oțel ;
— Ar — armătură din sîrmă rotundă de oțel ;
— I — înveliș exterior de protecție din material fibros impregnat.

7.2. **Verificarea cablurilor**

În tabelul 7.1 sînt prezentate principalele probe la care sînt supuse cablurile electrice, precum și momentul efectuării lor.

În tabelul 7.1 TTS are semnificația „trecerea la o tensiune superioară de funcționare". Semnificația celorlalte notații este indicată la § 1.3.

7.2.1. *Măsurarea rezistenței de izolație*

Rezistența de izolație a cablurilor se măsoară cu ajutorul megohmmetrelor. Utilizarea acestor aparate nu oferă însă totdeauna rezultate concludente, valorile măsurate fiind de regulă mai mici decît cele reale și găsindu-se în raport invers proporțional cu lungimea cablului.

În mod practic, la cablurile cu cîmp neradial, rezistența de izolație se măsoară între fiecare conductor și manta, cum și între conductoare.

La cablurile cu cîmp radial, rezistența de izolație se măsoară între fiecare conductor și manta.

Această operație se execută numai după ce cablul a fost deconectat la ambele capete și descărcat de sarcina capacitivă. Descărcarea de sarcină capacitivă se execută și după fiecare măsurare în parte.

În funcție de tensiunea nominală a cablului, valorile minime măsurate trebuie să fie mai mari decît cele din tabelul 7.2.

Tabelul 7.1

Nr. crt. probă	Denumirea probei	Momentul efectuării probei				
		PIF	RC_2	RK	TTS	Observaţii, alte momente de efectuare a probei
7.2.1	Măsurarea rezistenţei de izolaţie	X	X	X	—	Înainte şi după încercarea cu tensiune mărită
7.2.2	Identificarea conductoarelor cablului	X	X	X	—	Modificări în instalaţie
7.2.3	Măsurarea rezistenţelor ohmice ale conductoarelor	X	X	X	—	—
7.2.4	Măsurarea rezistenţelor ohmice a ecranelor	X	X	X	—	—
7.2.5	Încercarea izolaţiei cu tensiune redresată	X	X	X	X	— La un an după PIF — O dată la maximum trei ani
7.2.6	Măsurarea tg δ	—	—	—	X	—
7.2.7	Măsurarea diferenţei de potenţial dintre mantaua metalică şi pământ	—	—	—	—	— În cazul unor defecţiuni pe cablu
7.2.8	Încercarea mantalei anticorosive cu tensiune alternativă mărită	X	X	X	—	La 3 RT, dar nu mai rar de 3 ani
7.2.9	Verificări specifice cablurilor cu tensiuni mai mari sau egale cu 110 kV	X	X	X	—	—

Tabelul 7.2

Tensiunea nominală a cablului	Tensiunea megohmmetrului utilizat	Rezistența de izolație minimă [Ω/km]
$U \leqslant 1\,000$ V	1 000	50 MΩ/km
$U > 1\,000$ V	2 500	100 MΩ/km

Pentru cablurile cu lungime mai mică de 100 m, rezistența de izolație măsurată la 1 minut de la aplicarea tensiunii trebuie să fie mai mare de 1 000 MΩ. Peste această lungime, valoarea măsurată în condițiile de mai sus împărțită la lungimea cablului în km, trebuie să fie mai mare decît valorile indicate în tabelul 7.2, coloana 3.

7.2.2. *Identificarea conductoarelor cablului*

Proba se execută cu ajutorul unui buzer sau megohmmetru. La un capăt al cablului se conectează unul din conductoare la pămînt sau la manta, în timp ce la celălalt capăt se caută în mod succesiv pe fiecare conductor, pînă cînd buzerul sau megohmmetrul va indica pe cel pus la pămînt sau legat la manta (fig. 7.1). În tot acest timp trebuie menținută o legătură directă între persoanele aflate la cele două capete ale cablului (prin telefon, radio sau dacă este posibil, chiar direct).

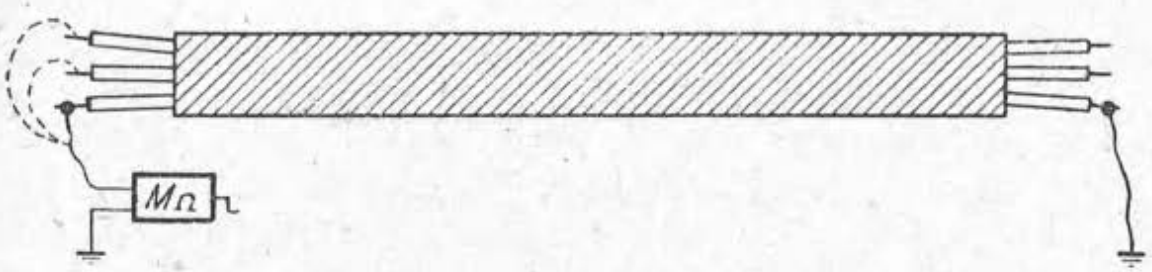


Fig. 7.1.

7.2.3. *Măsurarea rezistenței ohmice a conductoarelor*

Proba se execută de regulă la cablurile de 110—400 kV. Pentru efectuarea ei se utilizează o punte Wheatstone sau metoda ampermetrului și voltmetrului în curent continuu (fig. 7.2).

În ambele cazuri, la unul din capete se scurtcircuitează între ele cele trei faze. La celălalt capăt se măsoară în mod succesiv, rezistențele R_{AB}, R_{BC} și R_{CA}, cu ajutorul cărora, conform celor indicate la § 3.3.6, se determină rezistența fiecărei faze, R_A, R_B și R_C. Conductoarele folosite pentru scurtcircuitare trebuie să fie suficient de groase pentru a nu introduce rezistențe suplimentare la măsurare.

Rezultatele măsurărilor se compară cu valorile din buletinul de fabrică. În lipsa acestora se va calcula rezistivitatea conductoarelor, care nu trebuie să depășească la 20°C pe oricare din faze :

— 0,0184 $\Omega mm^2/m$ la conductoarele din cupru moale ;
— 0,03125 $\Omega mm^2/m$ la conductoarele din aluminiu.

Dacă măsurările s-au efectuat la temperatura t, recalcularea rezistivității la temperatura de 20° se face cu formula :

$$\rho = \frac{R_t S}{[1 + \alpha(t - 20°)]l}$$

în care R_t este rezistența măsurată la temperatura t, [Ω] ; S — secțiunea fazei respective, [mm^2] ; α — coeficient de temperatură la 20°C :

— 0,00392 pentru conductor din cupru moale ;
— 0,0040 pentru conductor din aluminiu ;
l — lungimea cablului [m].

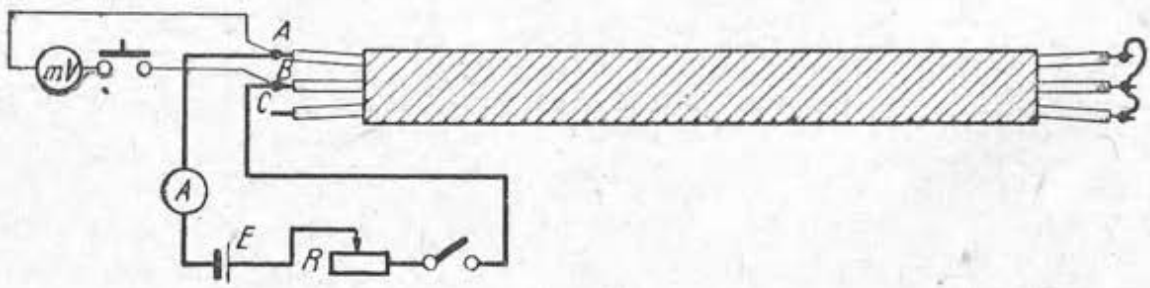


Fig. 7.2.

7.2.4. *Măsurarea rezistenței ohmice a ecranelor*

Executarea probei este obligatorie la cablurile de 6—20 kV cu ecran individual pe fiecare fază sau cu ecran comun [5].

Pentru efectuarea ei, se poate utiliza o punte Wheatstone obișnuită sau metoda ampermetrului și voltmetrului în curent continuu.

Practic măsurarea se execută pe tronsoane de cablu înaintea montării manșoanelor și a cutiilor terminale. Ecranul se conectează la unul din capetele cablului, la un conductor de fază.

Rezistența R_t măsurată va fi egală cu rezistența conductorului R_c, înseriată cu rezistența ecranului R_e. Rezistența conductorului R_c se determină conform celor indicate la paragraful precedent. Rezultă că rezistența ecranului R_e este dată de relația :

$$R_e = R_t - R_c \quad [\Omega].$$

Conform [64], rezistența electrică a ecranului va fi de maxim 3,03 [Ω/km], la 20°C (corespunzătoare unei secțiuni de 6 mm² cupru).

Dacă rezistența ecranului a fost măsurată la temperatura t, pentru a recalcula această valoare la temperatura de 20°C, se utilizează formula :

$$R_{e20^\circ} = \frac{R_{et^\circ}}{[1 + \alpha(t - 20^\circ)]l} \quad [\Omega/\text{km}]$$

unde R_{et° este rezistența ecranului măsurată la temperatura t° ; α — coeficientul de temperatură al ecranului la 20°C ; l — lungimea cablului [km].

7.2.5. *Încercarea izolației cu tensiune redresată mărită*

7.2.5.1. **Cabluri cu** $U_N \leqslant 1$ kV. Încercarea cu tensiune mărită, se execută ca la § 7.2.1, folosind o tensiune de 2 kV pentru cabluri cu $U_N \leqslant 0{,}5$ kV și de 2,5 kV pentru cabluri cu $U_N = 1$ kV. Durata încercării este de 1 minut.

7.2.5.2. *Cabluri cu* $U_N > 1$ kV. Proba se execută cu ajutorul unei instalații capabile să furnizeze o tensiune continuă redresată, la valorile indicate în tabelul 7.3.

Tabelul 7.3

Momentul execuției	Felul izolației	Tipul cablului	Tensiunea nominală [kV]							Durata încercării (min)
			6	10	15	20	35	110	220	
La PIF (în lipsa altor valori date de fabricant)	Hîrtie	Cu cîmp radial	21	35	—	72	101	254	508	15
		Cu cîmp neradial	29	48	—	96	—	—	—	15
	PVC sau PE	Cu cîmp radial	34	51	—	72	—	—	—	15
		Cu cîmp neradial	34	51	—	—	—	—	—	10
După reparații sau în exploatare	Hîrtie, PVC sau PE	Cu cîmp radial	30	50	67	72	101	203	406	5
		Cu cîmp neradial	30	50	67	90	—	—	—	5

În funcție de tipul cablului, tensiunea de încercare se aplică astfel :

a) *la cablurile cu cîmp radial*, adică cele la care cîmpul electric este normal la învelișul izolant (cablurile monofazice sau cele cu mai multe faze ce au manta metalică sau ecran individual pe fiecare fază), tensiunea se aplică între fiecare conductor și mantaua de plumb sau ecranul corespunzător conductorului respectiv, la care se leagă celelalte conductoare.

b) *la cablurile cu cîmp neradial*, adică cele la care cîmpul electric nu este normal la învelișul izolant pe toată circumferința acestuia (cabluri cu mai multe conductoare, cu izolație de centură și manta metalică sau ecran comun), tensiunea se aplică succesiv între două conductoare legate între ele și celălalt conductor legat la mantaua metalică (ecran) și pămînt.

Tensiunea de încercare nu va fi aplicată decît după ce cablul a fost deconectat la ambele capete şi descărcat de eventualele sarcini capacitive ce ar putea exista pe el şi numai după ce s-au luat toate măsurile indicate în [68].

După fiecare probă, descărcarea cablului de sarcinile capacitive acumulate în timpul încercării este obligatorie.

Tensiunea de încercare se ridică treptat cu viteza de 1 kV/s, de la zero, pînă la valoarea indicată în tabelul 7.3.

În timpul încercării nu trebuie să apară şocuri ale curentului de fugă, străpungeri sau conturnări.

Pentru cablurile cu izolaţie de hîrtie construite pînă în 1960 şi funcţionînd la o tensiune mai mare decît cea nominală, tensiunile de încercare vor fi cele din tabelul 7.4.

Tabelul 7.4

Momentul efectuării probei	Tipul cablului	Cablu de 6 kV trecut la 10 kV	Cablu de 15 kV trecut la 20 kV	Timpul de încercare [min]
În momentul trecerii la tensiunea superioară	Cu cîmp radial	22	75	15
	Cu cîmp neradial	39	90	15
În exploatare sau după reparaţii	Cu cîmp radial	17	43	5
	Cu cîmp neradial	30	75	5

În situaţia în care cablurile cu izolaţie de hîrtie sînt joncţionate cu cabluri cu izolaţie din P.V.C., tensiunea de încercare a cablului va corespunde celei mai mici tensiuni de încercare a cablurilor componente.

În timpul măsurărilor, curentul de fugă nu trebuie să depăşească valorile din tabelul 7.5 sau valorile de referinţă.

Coeficientul de asimetrie al curenţilor de fugă:

$$a = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{min}} \leqslant 2$$

unde I_{max} este valoarea maximă aleasă dintre cei trei curenţi de fugă de pe fiecare fază, I_A, I_B şi I_C; I_{min} — valoarea minimă aleasă dintre cei trei curenţi de fugă de pe fiecare fază, I_A, I_B şi I_C.

Tabelul 7.5

Tensiunea nominală a cablului [kV]	Lungimea cablului [m]	Curentul de fugă [μA]
6	<100	100
	100—1 000	150
	>1 000	200
10	<100	100
	100—1 000	200
	>1 000	350
110	<10 000	5 000

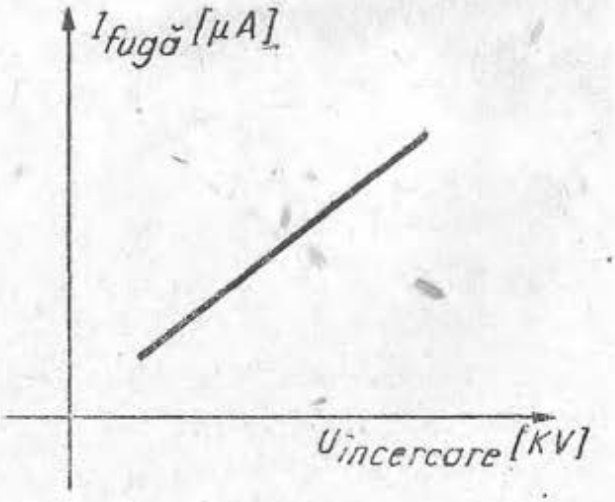


Fig. 7.3.

În situația în care curenții de fugă sau coeficientul de asimetrie al acestora depășesc valorile admisibile, se ridică curba :

$$I_{fugă} = f(U_{încercare})$$

Această curbă trebuie să aibă o formă liniară (fig. 7.3).

Pentru fiecare treaptă a tensiunii de încercare (fiecare punct de măsurare), curentul de fugă se consideră stabilizat după 1 minut de la atingerea tensiunii corespunzătoare treptei respective. O curbă care prezintă coturi înaintea atingerii tensiunii de încercare propriu-zise indică un cablu necorespunzător.

7.2.6. *Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice* tg δ

Proba se execută cu ajutorul unei punți Schering, cu ocazia trecerii cablului la o tensiune superioară de funcționare.

În funcție de tipul cablului, tensiunea se aplică astfel :

— la cablurile cu cîmp radial, între fiecare conductor și mantaua de plumb sau ecranul corespunzător fazei respective, celelalte faze fiind legate la pămînt ;

— la cablurile cu cîmp neradial, între fiecare conductor și mantaua de plumb sau ecranul comun, celelalte faze fiind legate la pămînt.

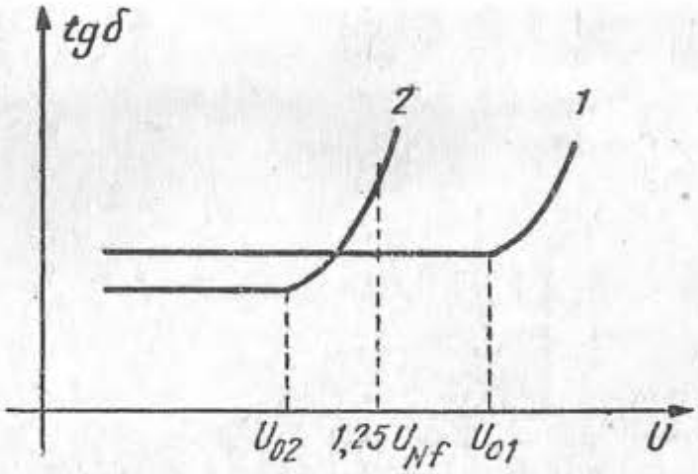


Fig. 7.4.

Se ridică curba de ionizare :

$$\operatorname{tg} \delta = f(U)$$

Valorile tensiunii U pentru care se ridică curba sînt : 0,5 U_{Nf}; 0,75 U_{Nf}; U_{Nf} și 1,25 U_{Nf}, unde U_{Nf} reprezintă tensiunea nouă de funcționare.

În fig. 7.4, curba *1* reprezintă curba de ionizare în cazul unui cablu corespunzător, la care pragul de ionizare, adică tensiunea U_0 la care curba își modifică forma orizontală, este mai mare decît 1,25 U_{Nf}.

Curba *2* reprezintă cazul unui cablu necorespunzător, la care pragul de ionizare U_0 este mai mic decît 1,25 U_{Nf}.

7.2.7. *Măsurarea diferenței de potențial dintre mantaua metalică și pămînt*

Pentru măsurarea diferenței de potențial dintre mantaua metalică și pămînt, se utilizează un electrod nepolarizabil cu $CuSO_4$ și un voltmetru cu rezistență interioară foarte mare (50—100 kΩ/V sau chiar mai mult), conectat între mantaua cablului și electrodul nepolarizat aflat pe sol.

Măsurările se execută de regulă în puncte special amenajate pe traseul cablului, în acele zone în care s-a estimat posibilitatea apariției curenților de dispersie.

Gradul de periculozitate al coroziunii cablurilor se stabileşte de la caz la caz, în funcţie de rezistenţa specifică a solului, de tipul cablului pozat şi de densitatea medie zilnică a curentului de scurgere la pământ.

7.2.8. *Încercarea mantalei exterioare anticorosive cu tensiune redresată mărită*

Proba se execută numai pentru cabluri cu $U_N \geqslant 110$ kV, conform indicaţiilor fabricii constructoare.

7.2.9. *Verificări specifice cablurilor cu* $U_N \geqslant 110$ *kV*

Aceste verificări se execută conform indicaţiilor fabricantului, respectîndu-se valorile şi datele de control furnizate de acesta.

De regulă se execută următoarele probe :

— stabilirea gradului de degazare a uleiului izolant ;

— rigiditatea dielectrică a uleiului ;

— verificarea sistemului de semnalizare a presiunii uleiului ;

— verificarea circulaţiei curenţilor în manta ;

— măsurarea rezistenţei de punere la pământ a construcţiilor metalice din tunele sau canale de cabluri şi de la capetele terminale.

8. Bobine de reactanță. Caracteristici, verificări

8.1. Generalități, caracteristici

Bobinele de reactanță (reactoarele) sînt echipamente care se montează în centrale și stații electrice pentru a limita curenții de scurtcircuit.

Reactorul este constituit dintr-o bobină cu o rezistență activă foarte mică. Spirele bobinei sînt izolate una față de alta și întreg ansamblul, față de pămînt.

Bobinele de reactanță se conectează în serie, pe fiecare fază a rețelei. Ele sînt caracterizate de reactanța inductivă X_r [%], raportată la condițiile nominale : tensiunea nominală U_N și curentul nominal I_N

$$X_r[\%] = \frac{\sqrt{3} x_r \cdot I_N}{U_N} \cdot 100$$

$$x_r = \omega L \quad [\Omega],$$

în care L este inductanța bobinei de reactanță [H] ; $\omega = 2\pi f = 314$, este pulsația curentului alternativ.

Pentru curenți nominali de valoare mare, bobinele se execută în construcție jumelată, avînd cîte două înfășurări pe fiecare fază.

8.2. Verificarea bobinelor de reactanță

În tabelul 8.1 sînt prezentate principalele probe la care sînt supuse bobinele de reactanță, precum și momentul efectuării lor.

Semnificația notațiilor din tabelul 8.1 este indicată la § 1.3.

Tabelul 8.1

Număr curent probă	Denumirea probei	Momentul efectuării probei				
		PIF	RC,	RT	RK	Observații, alte momente pentru efectuarea probei
8.2.1	Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor	X	X	X	X	—
8.2.2	Încercarea izolației principale cu tensiune alternativă mărită	X*	—	—	—	Intervenții cu înlocuire parțială sau totală a bobinajului
8.2.3	Măsurarea rezistenței și reactanței bobinei	X	X	—	X	—

* La PIF, proba se execută numai în lipsa buletinelor de fabrică.

8.2.1. *Măsurarea rezistenței de izolație*

Proba se execută cu ajutorul unui megohmmetru de 2 500 V, la o temperatură de 20 ± 10°C, între bornele bobinei și pămînt (fig. 8.1).

La bobinele noi, valorile obținute trebuie să fie mai mari de 50 MΩ, iar în exploatare, mai mari de 10 MΩ.

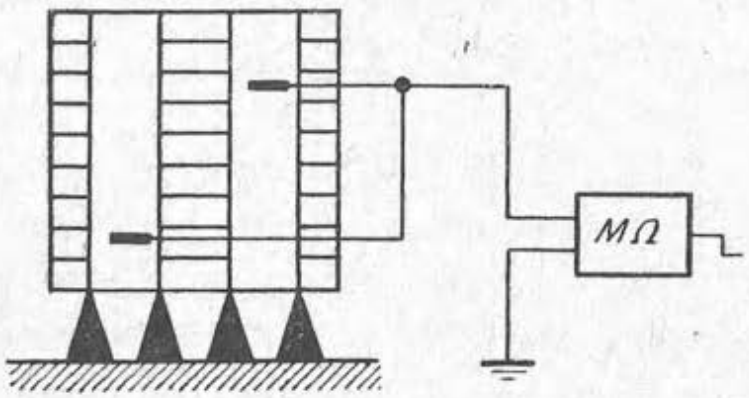


Fig. 8.1.

8.2.2. *Încercarea izolației cu tensiune alternativă mărită de 50 Hz*

Proba se efectuează cu o instalație de înaltă tensiune, la valorile indicate în tabelul 8.2. Tensiunea de încercare se aplică ca în fig. 8.1.

Tabelul 8.2

U_N bobină [kV]	3	6	10	15	20	25	35
U încercare [kV]	21	27	35	45	55	65	85

În timpul probei care durează 1 minut, nu trebuie să apară străpungeri ale izolației, iar tensiunea de conturnare trebuie să fie mai mare decît valorile indicate în tabelul 8.2.

8.2.3. *Măsurarea rezistenței și reactanței bobinei*

8.2.3.1. **Măsurarea rezistenței ohmice a bobinei.** Proba se execută cu ajutorul punții Thompson sau prin metoda ampermetrului și voltmetrului, în modul descris la paragrafele anterioare.

8.2.3.2. **Măsurarea reactanței.** Măsurarea se efectuează cu ajutorul unei punți, determinîndu-se mai întîi inductanța L a bobinei. Apoi, utilizînd formulele de la § 8.1, se determină reactanța acesteia, în mărimi absolute sau relative. Rezultatele măsurărilor trebuie să corespundă cu valorile de referință.

9. Bare colectoare. Caracteristici, verificări

9.1. Generalități

Barele colectoare reprezintă noduri electrice extinse în spațiu.

În general barele colectoare pot fi realizate sub formă :

— flexibilă, cînd utilizează conductoare tip funie, susținute de cadre sau montate direct pe capul separatoarelor și al izolatoarelor suport ;

— rigidă, cînd utilizează conductoare tip bară sau țevi din aluminiu, montate direct pe capul separatoarelor și izolatoarelor suport.

9.2. Verificarea barelor colectoare

În tabelul 9.1 sînt prezentate principalele probe la care sînt supuse barele colectoare, precum și momentul efectuării lor.

În tabelul 9.1, IRR are semnificația : intervenții, reparații, recondiționări. Semnificația celorlalte notații este indicată la § 1.3.

Tabelul 9.1

Număr curent probă	Denumirea probei	Momentul efectuării probei			
		PIF	RC_2	IRR	Observații, alte momente de efectuarea probei
9.2.1	Verificarea rezistenței de izolație a trecerilor izolante	X	X	—	— la RC_2 probele se execută: — la 6 ani în stații — la 3 ani în centrale
9.2.2	Încercarea izolației barelor colectoare cu tensiune alternativă mărită	X	—	X	Încercarea este obligatorie pentru suporturi izolante cu $U_N \leqslant 35$ kV
9.2.3	Măsurarea tg δ a trecerilor izolante	X	—	—	La RC_2 probele se execută: — la 6 ani în stații — la 3 ani în centrale
9.2.4	Verificarea distanțelor minime de izolație și protecție	X	—	—	Modificări în instalație

9.2.1. *Verificarea rezistenței de izolație a trecerilor izolante*

Proba se execută cu ajutorul unui megohmmetru de cel puțin 2 500 V, tensiunea aplicîndu-se între fiecare fază și pămînt, cum și între faze. Rezistența de izolație minimă trebuie să fie mai mare de 1 000 MΩ.

9.2.2. *Încercarea izolației barelor colectoare cu tensiune alternativă mărită de frecvență industrială*

Pentru efectuarea probei se utilizează o instalație de înaltă tensiune de curent alternativ.

Izolația trebuie să suporte tensiunea de încercare aplicată la valorile din tabelul 9.2. timp de 1 minut, fără să apară conturnări, străpungeri sau zgomote suspecte.

Tabelul 9.2

U_N bare (kV)	$U_{incercare}$ (kV)
3	19
6	24
10	31
15	40
20	50
25	58
30	67
35	76

.9.2.3. *Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice și a capacității trecerilor izolante*

Măsurările se execută numai la trecerile izolante umplute cu ulei, compound sau materiale izolante organice, destinate a funcționa la o tensiune de cel puțin 110 kV și la care sînt prevăzute borne speciale pentru măsurarea capacității și a tg δ.

Proba se execută cu ajutorul unei punți Schering, fiind recomandat ca tensiunea și schema de încercare, să respecte indicațiile fabricii constructoare a izolatorului.

Valorile obținute în urma măsurărilor nu trebuie să difere cu mai mult de 5% față de cele inițiale.

9.2.4. *Verificarea distanțelor minime de izolație și protecție*

Proba se execută cu ocazia PIF sau a modificărilor în instalații și constă în verificarea distanțelor minime de izolație și protecție.

Conform [73], în tabelul 9.3 și tabelul 9.4 sînt indicate distanțele minime de izolație și protecție pentru instalații electrice exterioare, respectiv interioare, cu tensiunea nominală > 1 kV.

9.2.4.1. **Distanțe de izolație.** Pentru instalațiile sau părțile de instalații electrice asamblate la locul de exploatare,

Tabelul 9.3

Distanţa de izolaţie şi protecţie (mm) pentru instalaţii exterioare		Număr figură	Distanţe minime [mm] la diverse tensiuni nominale [kV]						
			⩽10	20(15)	(35)	(60)	110	220	400
Distanţe de izolaţie	A_0	fig. 9.1 fig. 9.2	200	300	400	650	900	1 800	3 100
	$A = 1{,}1\ A_0$	fig. 9.1 fig. 9.2	220	330	440	700	1 000	2 000	3 400
	$A_1 = U_N/0{,}15$ $(A_1 \geqslant 200)$	fig. 9.3	200	200	250	400	750	1 500	2 700
	$A_2 = A_0/2$ $(A_2 \geqslant 200)$	fig. 9.4	200	200	200	330	450	900	1 550
Distanţe de protecţie	$B_1 = A_0 + 30$	fig. 9.5	230	330	430	680	930	1 830	3 130
	$B_2 = A_0 + 100$	fig. 9.5	300	400	500	750	1 000	1 900	3 200
	$B_3 = A_0 + 750$	fig. 9.5	950	1 050	1 150	1 400	1 650	2 550	3 850
	$C = A_0 + 2\,500$	fig. 9.5 fig. 9.9 fig. 9.10 fig. 9.11	2 700	2 800	2 900	3 150	3 400	4 300	5 600
	$D = A_0 + 1\,250$	fig. 9.10 fig. 9.11	1 450	1 550	1 650	1 900	2 150	3 050	4 350
	$E = A_0 + 600$	fig. 9.9 fig. 9.10 fig. 9.11	800	900	1 000	1 250	1 500	2 400	3 700
	$F_1 = A_0 + 750$	fig. 9.13	950	1 050	1 150	1 400	1 650	2 550	3 850
	$F_2 = A_0$ $(F_2 \geqslant 500)$	fig. 9.13	500	500	500	650	900	1 800	3 100
	$G = A_0 + 1\,500$	fig. 9.14	1 700	1 800	1 900	2 150	2 400	3 300	4 600

Tabelul 9.4

Distanța de izolație și protecție (mm), pentru instalații interioare		Număr figură	Distanțe minime (mm) la diverse tensiuni nominale [kV]							
			(3)	6	10	20	(35)	(60)	110	220
Distanțe de izolație	A_0	fig. 9.1	65	90	120	180	290	500	900	1 800
	$A = 1{,}1\ A_0$	fig. 9.1	70	100	130	200	320	550	1 000	2 000
	$A_2 = A_0$ exterior/2 ($A_2 \leqslant A$)	fig. 9.4	70	100	100	150	200	330	450	900
Distanțe de protecție	$B_1 = A_0 + 30$	fig. 9.6	100	120	150	210	320	530	930	1 850
	$B_2 = A_0 + 100$	fig. 9.7	170	190	220	280	390	600	1 000	1 900
	$B_3 = A_0 + 750$	fig. 9.8	820	840	870	930	1 050	1 250	1 630	2 550
	$C = A_0 + 2\,500$	fig. 9.6 fig. 9.12	2 600	2 600	2 650	2 700	2 800	3 000	3 400	4 300
	$D = A_0 + 1\,250$	fig. 9.10	1 350	1 350	1 400	1 450	1 550	1 750	2 150	3 050
	$E = A_0 + 600$	fig. 9.10	670	690	720	780	890	1 100	1 500	2 400
	H	fig. 9.14	4 500	4 500	4 500	4 750	4 750	5 500	5 500	6 500

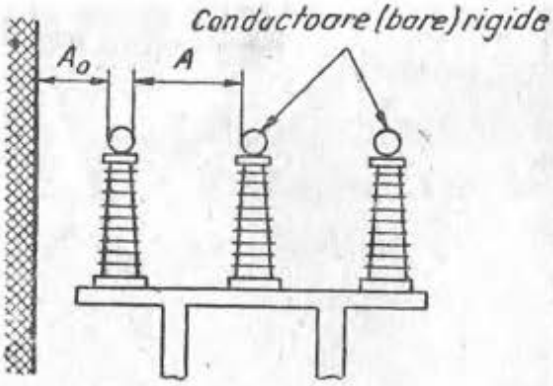


Fig. 9.1.

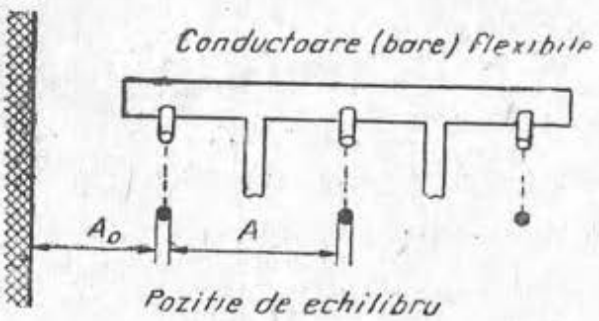


Fig. 9.2.

la care izolația în aer între elementele componente aflate sub tensiune, precum și între acestea și elementele legate la pământ, nu poate fi verificată prin încercări, asigurarea nivelului de izolație se realizează respectînd distanțele din tabelul 9.3 și tabelul 9.4.

Semnificația simbolurilor din coloana 1 a acestor tabele este următoarea :

— *A* reprezintă distanțele minime de izolație în aer, între părțile conductoare aflate sub tensiune aparținînd unor faze diferite (fig. 9.1, pentru instalațiile interioare și fig. 9.2, pentru instalațiile exterioare) ;

— A_0 reprezintă distanțele minime de izolație între părțile conductoare aflate sub tensiune și elementele legate la pământ (fig. 9.1, pentru instalațiile interioare și fig. 9.2, pentru instalațiile exterioare) ;

— A_1 reprezintă distanțele minime de izolație în aer ale conductoarelor flexibile aflate sub tensiune, față de alte elemente sub tensiune sau legate la pământ, în timpul balansului datorat vîntului (fig. 9.3).

În fig. 9.3, *a* reprezintă deplasarea unui conductor pe orizontală datorită vîntului ;

— A_2 reprezintă distanțele minime de izolare în aer ale conductoarelor flexibile aflate sub tensiune față de alte elemente sub tensiune sau legate la pământ, în timpul scurtcircuitelor (fig. 9.4).

Distanțele dintre două piese sub tensiune care pot să se găsească la aceleași tensiuni nominale, însă nesincrone între ele, trebuie să fie cel puțin egale cu 1,2 *A* (tabelul 9.3 și 9.4).

Distanțele dintre părțile sub tensiune ale unor instalații care funcționează la tensiuni nominale diferite trebuie să fie

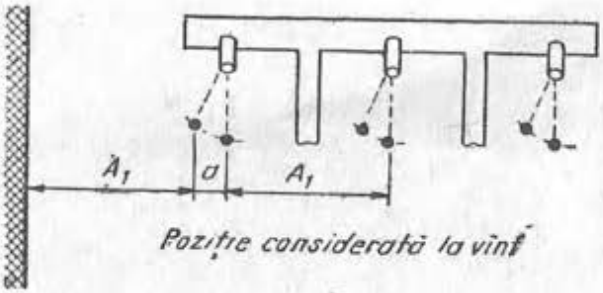


Fig. 9.3.

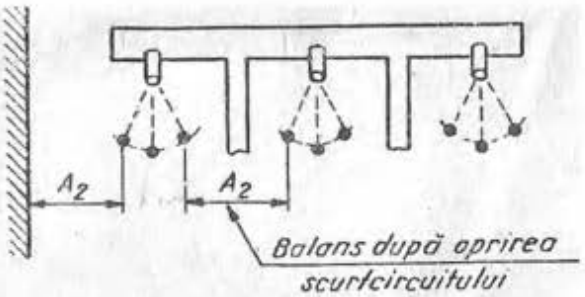


Fig. 9.4.

cel puțin egale cu 1,2 A, în care A corespunde instalației cu tensiunea mai mare.

Pentru instalațiile amplasate la mare altitudine, distanțele de izolare în aer indicate în tabelele de mai sus trebuie mărite cu 1,25% pentru fiecare 100 m, peste altitudinea de 1 000 m. Această indicație este valabilă numai pînă la altitudinea de 3 000 m.

În cazul instalațiilor prefabricate, distanțele de izolare minime nu se normează. Aceste instalații se vor verifica la tensiunile de încercare prevăzute în standardul de coordonare a izolației.

În situația în care prin construcția aparatelor, la racordarea căilor de curent la bornele acestora nu se pot respecta distanțele A și A_0, din tabelul 9.3 și tabelul 9.4, se admit distanțe mai mici în zona de racordare, în conformitate cu indicațiile fabricii constructoare.

În lipsa acestor indicații, distanțele dintre căile de curent și dintre acestea și elementele legate la pămînt trebuie să fie cel puțin egale cu distanțele libere dintre bornele aparatului. Zona de racordare va fi redusă la minimum posibil.

9.2.4.2. **Distanțe de protecție.** Protecția personalului de deservire și exploatare împotriva atingerilor accidentale a elementelor aflate sub tensiune se asigură prin :

a) Amplasarea instalațiilor la înălțime corespunzătoare, în zona inaccesibilă atingerilor accidentale.

b) Îngrădiri de protecție definitive, pline sau din plasă (se admite și folosirea balustradelor).

c) Dispunerea echipamentului în carcase închise.

Îngrădirile de protecție definitive pline, din plasă, cum și balustradele, trebuie să aibă înălțimile minime din tabelul 9.5.

Tabelul 9.5

Tipul instalaţiei	Înălţimi minime [mm]		
	Îngrădiri pline	Îngrădiri din plasă	Balustradă
Instalaţii de exterior	2 000	2 000	1 500
Instalaţii de interior	1 800	1 800	1 200

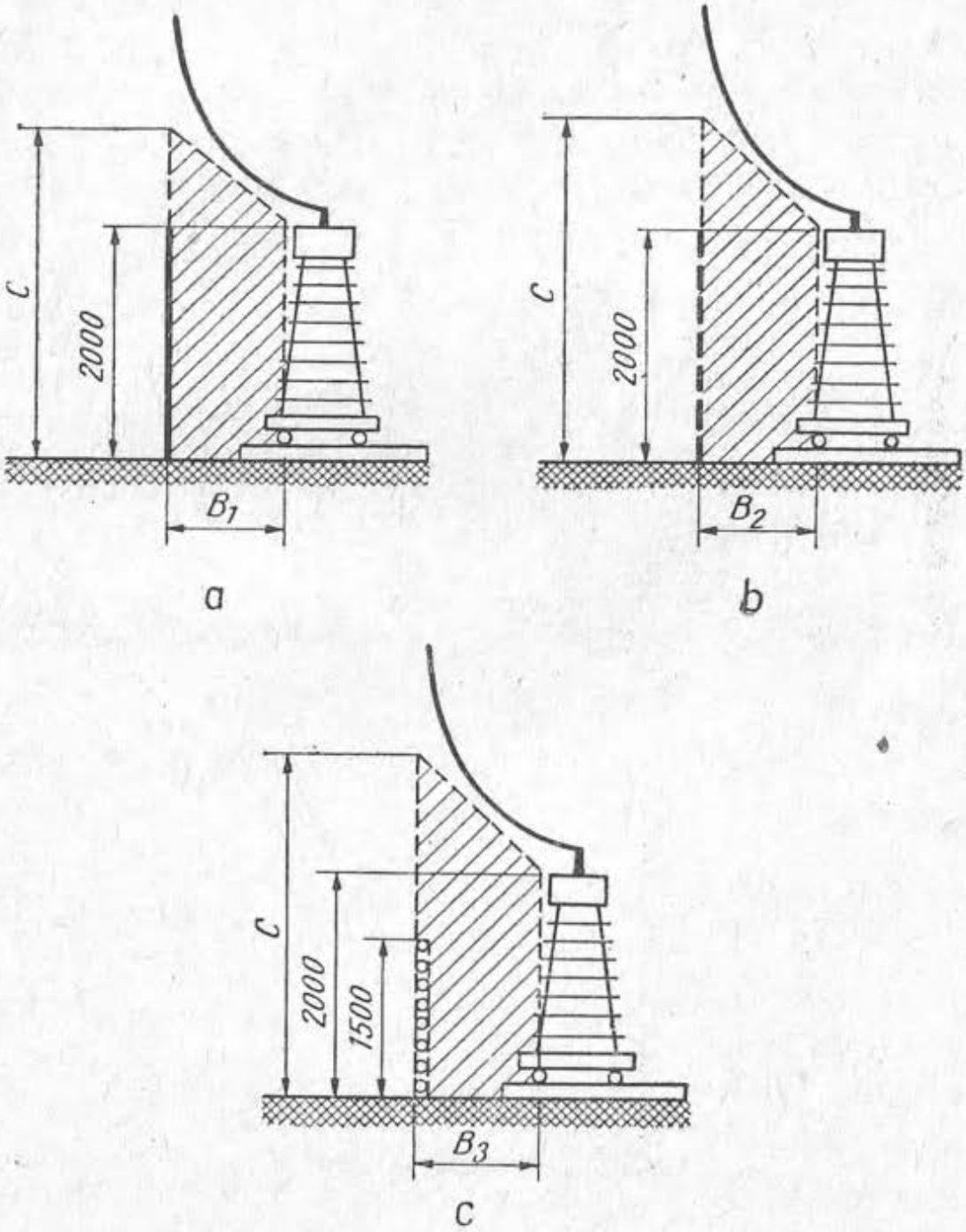


Fig. 9.5.

Pentru distanțele de protecție, semnificația simbolurilor din coloana 1, a tabelelor 9.3 și 9.4 este următoarea :

— B_1 ; B_2 ; B_3, reprezintă distanțele dintre părțile conductoare sub tensiune sau izolate față de pămînt ale instalației și îngrădirile cu caracter definitiv din : peretele plin (B_1), plasă (B_2) și balustradă (B_3) (fig. 9.5, pentru instalații de exterior și fig. 9.6 ; 9.7 ; 9.8, pentru instalații de interior).

— C reprezintă distanțele minime dintre elementele instalației aflate sub tensiune și nivelul solului sau al platformei de deservire, care nu necesita de regulă îngrădiri de protecție (fig. 9.5 ; 9.9 ; 9.10 ; 9.11 ; pentru instalațiile exterioare și fig. 9.6 ; 9.12, pentru instalațiile interioare).

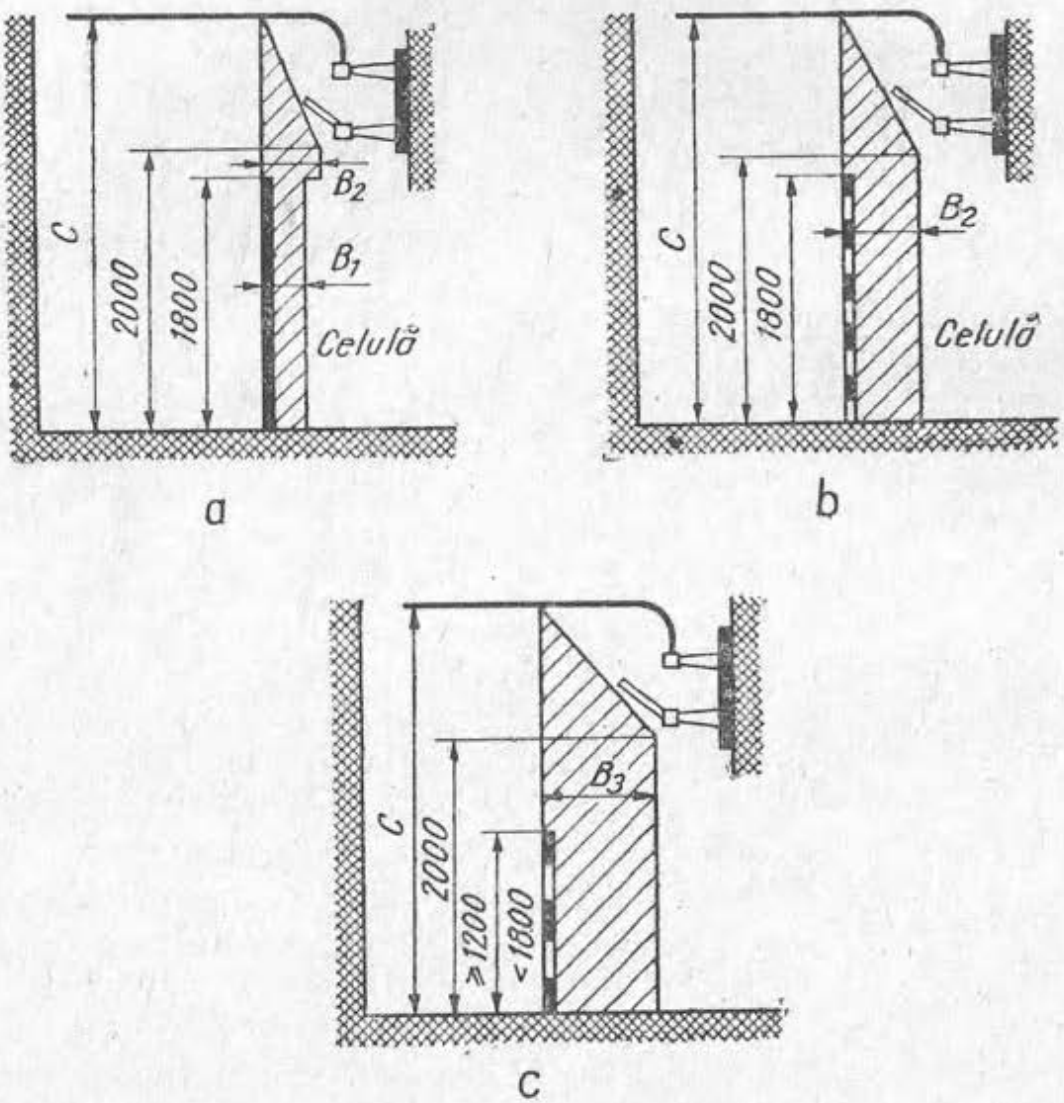


Fig. 9.6.

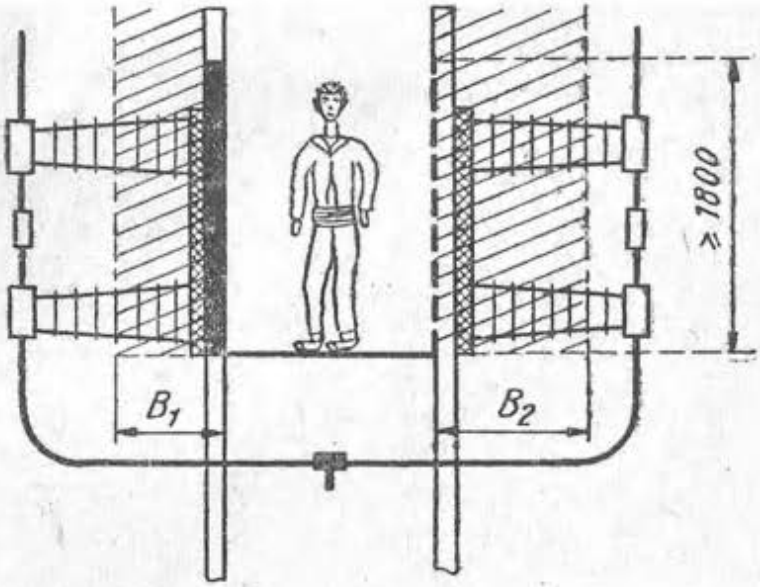


Fig. 9.7.

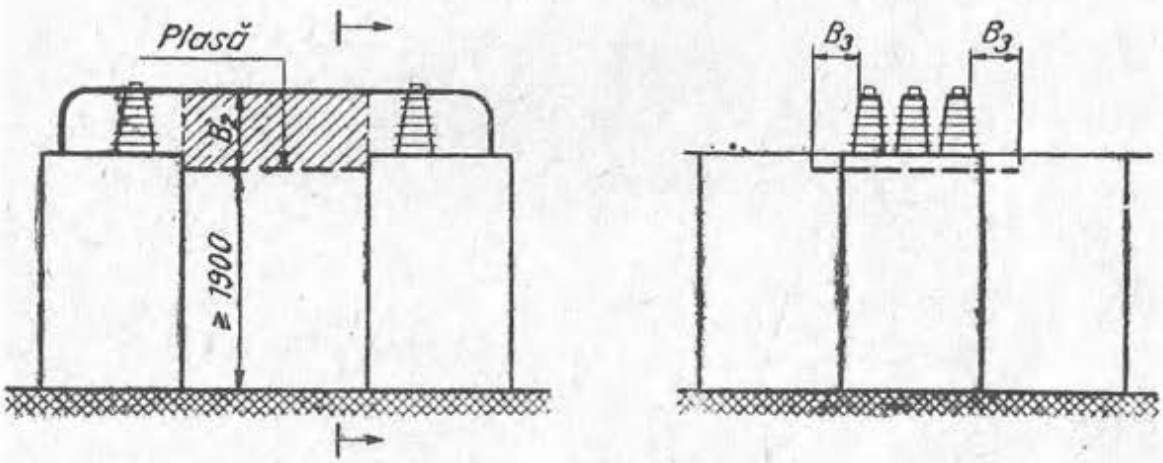


Fig. 9.8.

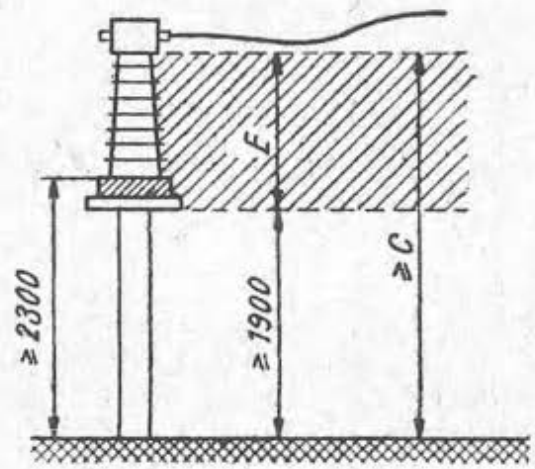


Fig. 9.9.

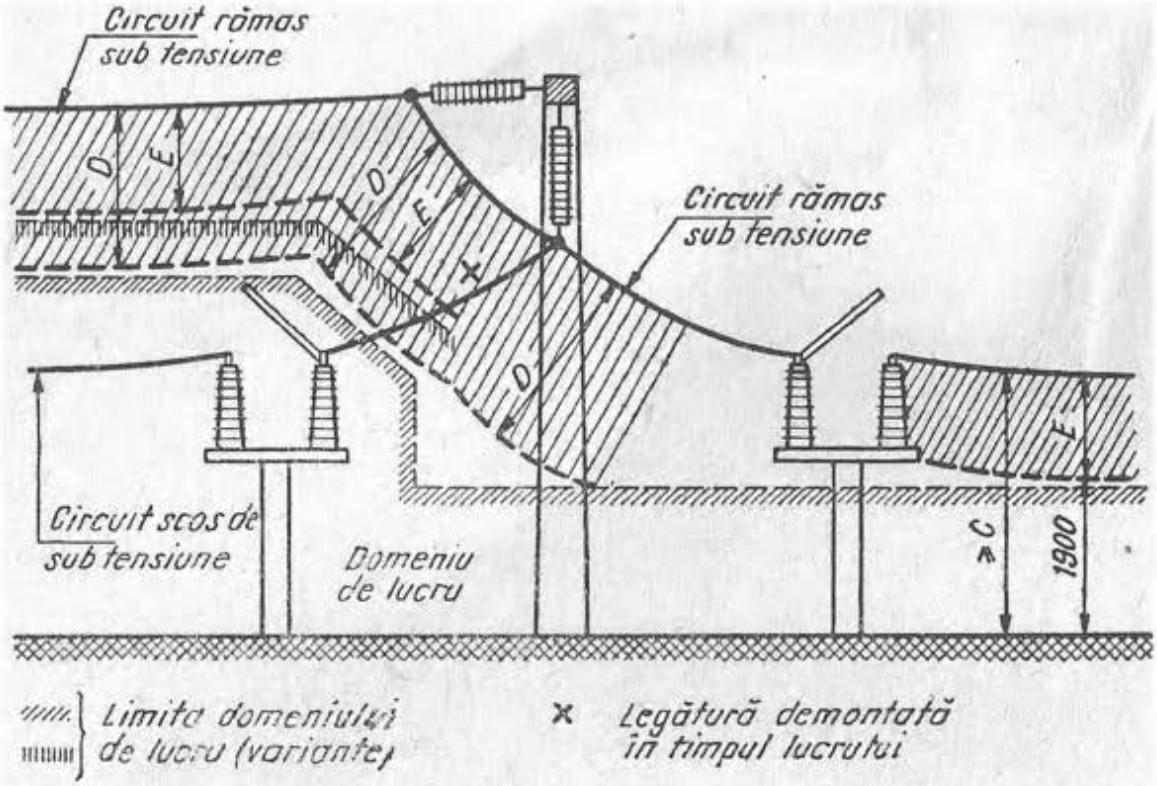


Fig. 9.10.

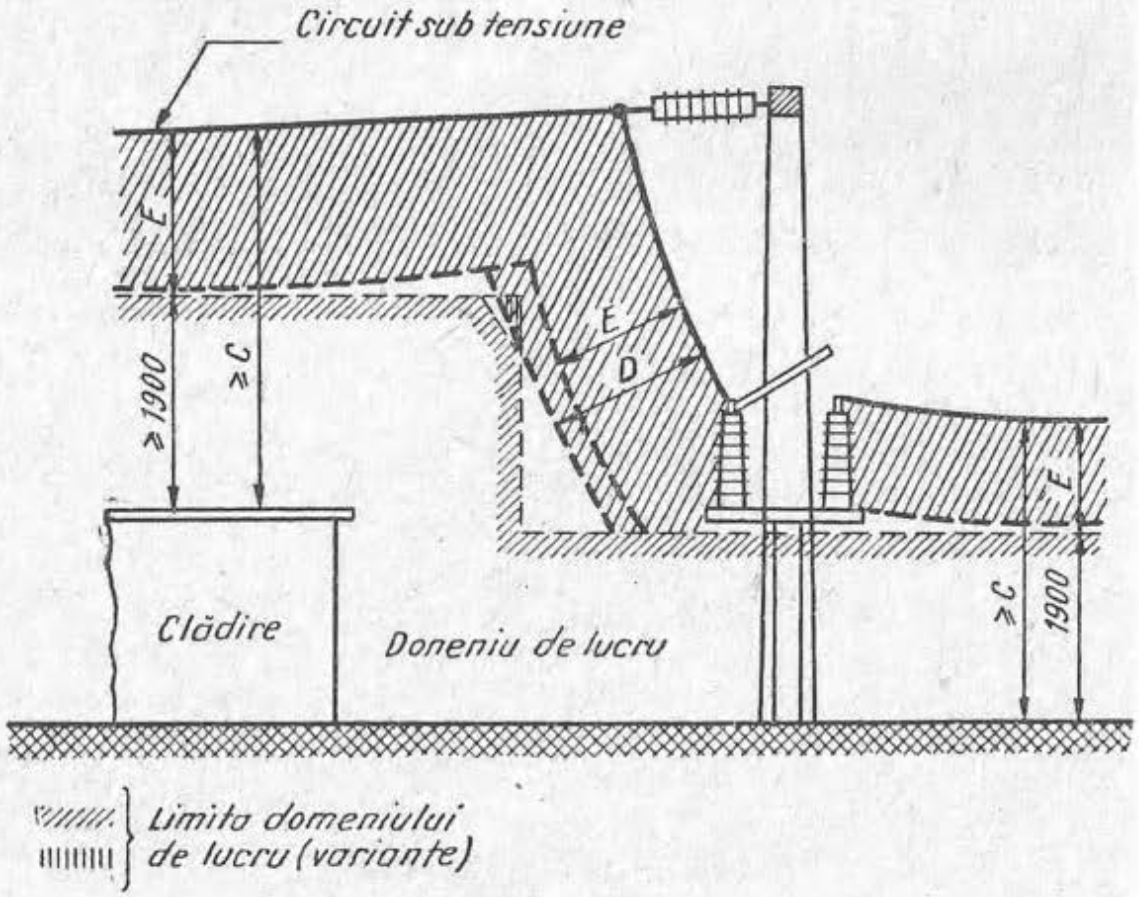


Fig. 9.11.

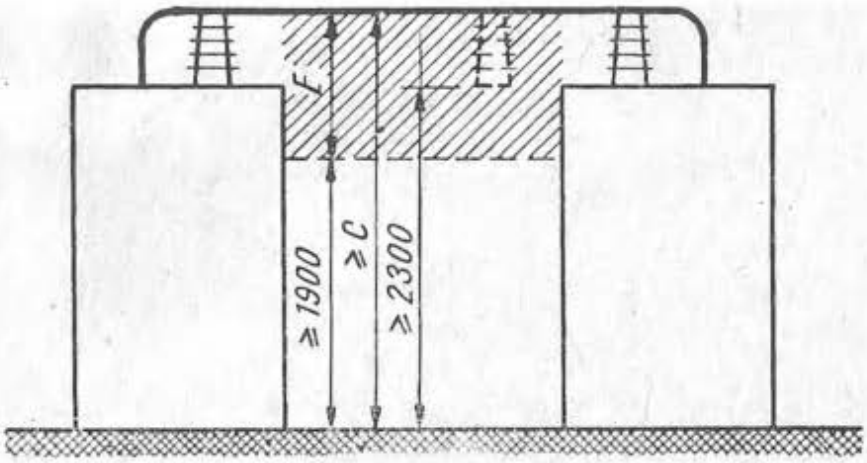


Fig. 9.12.

Indicația precedentă poate fi extinsă și asupra aparatelor electrice ale căror părți conductoare aflate sub tensiune se găsesc la o distanță $\geqslant C$ de sol, dacă ele au marginile superioare ale soclurilor izolatoarelor suport, la o înălțime de cel puțin 2 300 mm de la nivelul solului (fig. 9.9). Dacă distanța C nu poate fi respectată, se vor executa după caz, îngrădiri verticale sau orizontale (fig. 9.5 ; 9.6 ; 9.8) ;

— D reprezintă distanțele de protecție contra atingerii accidentale a părților neîngrădite aflate sub tensiune sau izolate față de pămînt și marginea domeniului permis pentru lucru (fig. 9.10 ; 9.11, pentru instalațiile exterioare și fig. 9.10 pentru instalațiile interioare) ;

— E reprezintă domeniul de protecție (fig. 9.9 ; 9.10 ; 9.11, pentru instalațiile exterioare și fig. 9.10 pentru instalațiile interioare).

Distanțele de protecție D pot fi reduse pînă la domeniul de protecție E, cu condiția ca :

a) elementele aflate sub tensiune sau izolate față de pămînt să se găsească deasupra domeniului permis pentru lucru ;

b) să se lucreze numai cu scule ușoare (de mînă) ;

c) pătrunderea în domeniul de protecție să se poată face numai prin ridicarea mîinilor și nu prin deplasarea laterală a persoanelor.

— F_1, F_2 reprezintă distanțele pe orizontală, respectiv verticală, dintre elementele aflate sub tensiune și gabaritele echipamentelor în curs de a fi transportate, inclusiv utilajele de transport și ridicare (fig. 9.13).

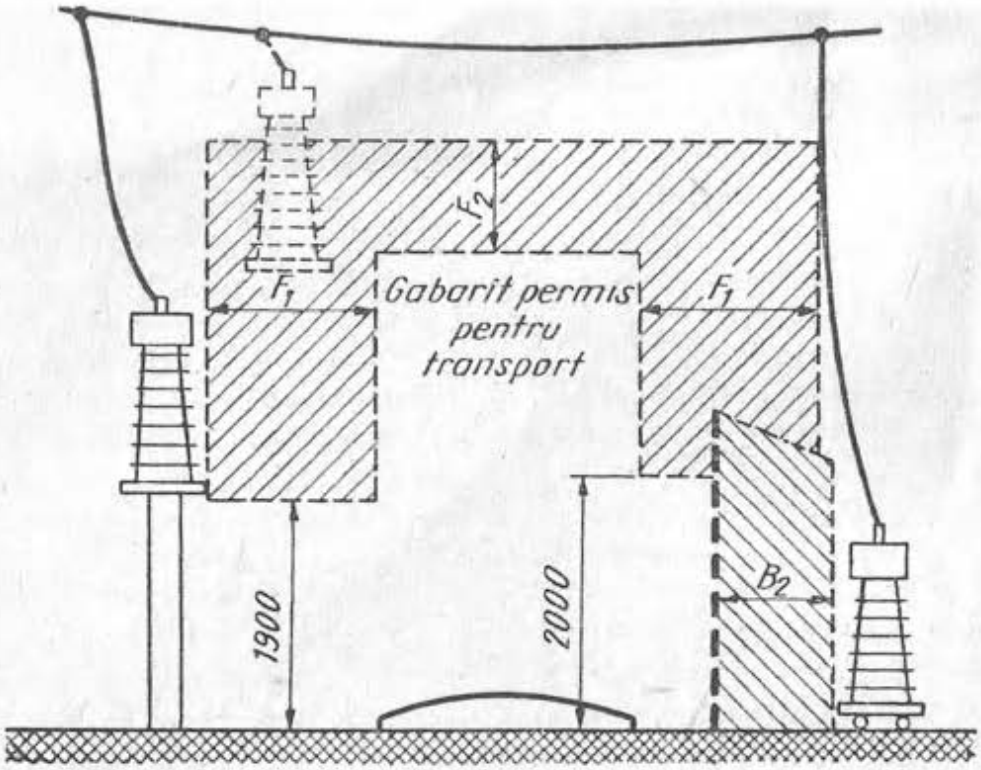


Fig. 9.13.

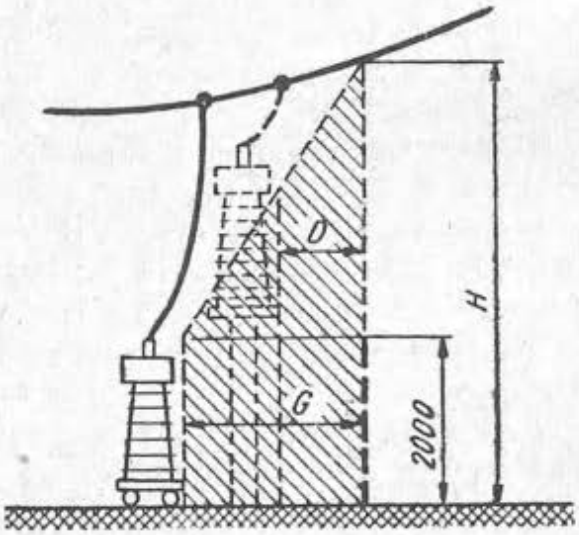


Fig. 9.14.

— *G* reprezintă distanța dintre părțile sub tensiune și îngrădirile aferente spațiilor de producție electrică (teritoriul stațiilor și posturilor electrice).

Dacă înălțimea îngrădirilor spațiului de producție electrică este de cel puțin 2 m, se admite ca în interiorul domeniului de protecție, să se găsească părți izolante ale instalației, la o distanță cel puțin egală cu distanța *D* (fig. 9.14).

10. Instalații de legare la pămînt. Caracteristici, verificări

10.1. Generalități, caracteristici

Conform [74], instalația de legare la pămînt este definită ca un ansamblu de conductoare, electrozi și alte piese prin care se realizează legarea la pămînt a diverselor aparate și mașini electrice.

O instalație de legare la pămînt poate fi de protecție, de exploatare sau comună, de exploatare și protecție.

Partea principală a unei instalații de legare la pămînt este priza de pămînt, alcătuită din elemente conductoare în contact cu pămîntul. Aceste elemente sînt de regulă țăruși metalici de anumite lungimi, bătuți în pămînt și uniți între ei prin benzi din același material.

În situația cînd printr-o priză de pămînt trece un anumit curent de punere la pămînt I_{pp}, atît potențialul prizei U_{pr}, cît și cel al terenului înconjurător se modifică față de situația anterioară.

Acest potențial U_{pr} se definește ca fiind diferența dintre potențialul prizei și potențialul unui punct de pe pămînt suficient de depărtat, de potențial zero.

Cea mai importantă mărime caracteristică a unei prize de pămînt este rezistența de dispersie R_p.

$$R_p = \frac{U_{pr}}{I_{pp}}$$

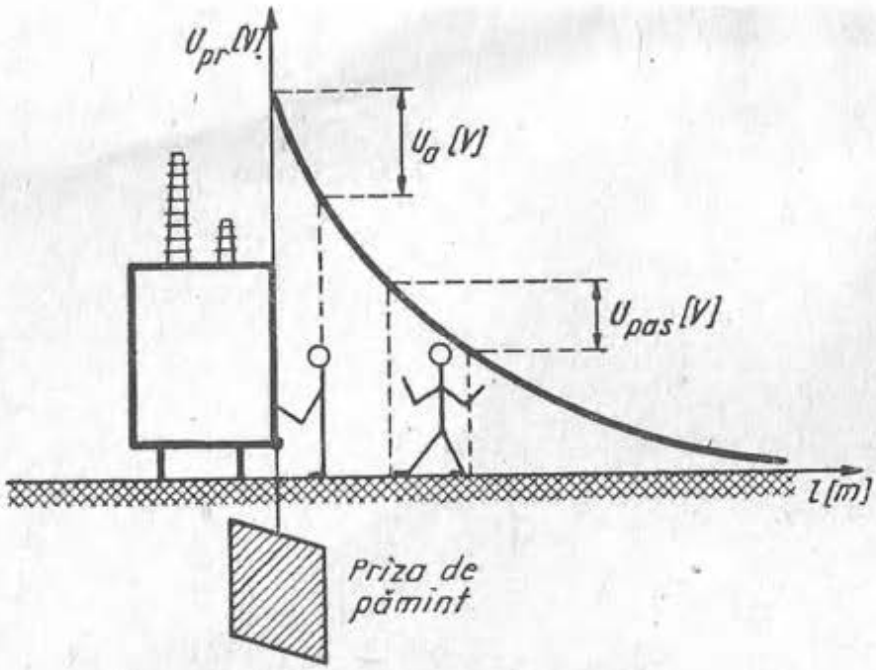


Fig. 10.1.

După cum se observă din formula de mai sus, cu cît rezistența de dispersie a prizei R_p este mai mică, cu atît tensiunea prizei este mai redusă și deci scad posibilitățile de accidentare prin electrocutare.

În cazul străpungerii izolației unui obiect legat la priza de pămînt, tensiunea lui față de punctul de potențial nul variază cu distanța, ca în fig. 10.1.

În această situație, electrocutarea unei persoane care se află în incinta delimitată sau în apropierea prizei de pămînt, poate avea loc prin atingerea cu mîna a obiectului respectiv sau ca urmare a așezării picioarelor pe două linii echipotențiale diferite.

Deci în cazul în care priza este străbătută de curentul de defect I_{pp}, periculoase pentru om sînt :

— *Tensiunea de atingere* U_a, care reprezintă o parte din tensiunea U_{pr}, la care este supus un om aflat la o distanță de 0,8 m față de obiectul atins.

— *Tensiunea de pas* U_{pas}, care reprezintă o parte din tensiunea U_{pr} la care este supus omul cînd atinge concomitent două puncte de pe sol (podea) aflate la distanță de 0,8 m între ele.

În funcție de tensiunea de atingere și de pas, se definesc coeficienții de atingere K_a și de pas K_{pas}, cu formulele :

$$K_a = \frac{U_a}{U_{pr}} \qquad K_{pas} = \frac{U_{pas}}{U_{pr}}$$

a) *Pentru instalațiile electrice din centrale, stații și posturi de transformare*, tensiunile U_a și U_{pas} admisibile sînt indicate în tabelul 10.1 [75 ; 76], în funcție de frecvența circulației.

În tabelul 10.1, *zonă cu circulație frecventă* reprezintă teritoriul pe care este situată centrala electrică sau întreprinderea industrială, cu excepția instalațiilor electrice îngrădite (stații și posturi de transformare).

Zonă cu circulație redusă reprezintă incinta instalațiilor electrice îngrădite (stații și posturi de transformare).

Zonă cu circulație redusă, cu folosirea mijloacelor de protecție individuală reprezintă incinta instalațiilor electrice îngrădite, în care se organizează folosirea permanentă și de către toate persoanele, a mijloacelor individuale de protecție izolante, în timpul circulației sau a efectuării lucrărilor.

Tabelul 10.1

Rîndul	Instalații sau echipamente amplasate în :	Tensiunea de atingere U_a, sau de pas U_{pas}(V), în funcție de timpul de întrerupere a curentului prin priza de pămînt [s]								
		0,2 s	0,3 s	0,4 s	0,5 s	0,6 s	0,7 s	0,8...3 s	> 3 s	
1	Zonă cu circulație frecventă	125 V	100 V	85 V	80 V	75 V	70 V	65 V	40 V	
2	Zonă cu circulație redusă	250 V	200 V	165 V	150 V	140 V	130 V	125 V	125 V	
3	Zonă cu circulație redusă cu folosirea mijloacelor individuale de protecție	500 V	400 V	330 V	300 V	280 V	260 V	250 V	250 V	

Tabelul 10.2

Tipul rețelei	Compoziția rețelei	Tipul stîlpului	Zona de circulație	U_a și U_{pas} [V]
Rețea cu neutrul izolat	Rețea constituită în întregime sau în proporție de cel puțin 66% din total (dar nu mai puțin de 10 km) din cabluri cu învelișuri sau armături metalice, continue, stabile termic la un defect bifazic	Fără aparataj	Redusă	Nu se standardizează
			Frecventă	125
		Cu aparataj	Redusă	Tabel 10.1 rînd 2 și 3
			Frecventă	Tabel 10.1 rînd 1
	Rețea constituită din linii aeriene sau din cabluri, care nu intră în categoria precedentă	Fără aparataj	Redusă	Nu se standardizează
			Frecventă	125
		Cu aparataj	Redusă	Tabel 10.1 rînd 1
			Frecventă	Tabel 10.1 rînd 1
Rețea cu neutrul legat la pămînt	Rețea alcătuită din linii aeriene sau din cabluri cu sau fără înveliș metalic	Fără aparataj	Redusă	Nu se standardizează
		Cu aparataj	Redusă	250
		Stîlpii LEA din localități	Frecventă sau redusă	250
		Stîlpii LEA din incinta unităților industriale sau agricole	Frecventă sau redusă	125

b) *Pentru stîlpii liniilor electrice aeriene* [LEA], tensiunile U_a și U_{pas} admisibile sînt indicate în tabelul 10.2.

În acest tabel, *zonele cu circulație frecventă* sînt considerate localitățile urbane și rurale, parcurile, drumurile publice sau industriale pe o distanță de 15 m, de o parte și de alta a lor, grădinile, livezile etc.

Zone cu circulație redusă, în cazul LEA, sînt considerate terenurile agricole, terenurile necultivate, pădurile, zonele din afara drumurilor la o distanță de peste 15 m de la marginea acestora etc.

În fig. 10.2 este prezentat modul de realizare a unei instalații de legare la pămînt pentru o stație electrică exterioară, iar în fig. 10.3, pentru o stație electrică (post de transformare) interioară.

În fig. 10.4 și tabelul 10.3 este prezentat modul de realizare a prizelor de dispersie pentru stîlpii liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune.

Tabelul 10.3

Distanța pe orizontală între inele sau între contururi	Adîncimea de îngropare
$a_1 = 0{,}4$ m	$h_1 = 0{,}4$ m
$a_2 = 0{,}7$ m	$h_2 = 0{,}6$ m
$a_3 = 1{,}2$ m	$h_3 = 0{,}8 \ldots 0{,}9$ m
$a_4 = 1{,}2$ m	$h_4 = 1{,}0 \ldots 1{,}1$ m

10.2. Verificarea instalațiilor de legare la pămînt

În tabelul 10.4 sînt indicate principalele probe la care sînt supuse instalațiile de legare la pămînt, precum și momentul efectuării lor.

În tabelul 10.4:

— MR are semnificația „modificări și reparații";
— ÎE — „înlocuire, echipament";
— PIF — puneri în funcțiune.

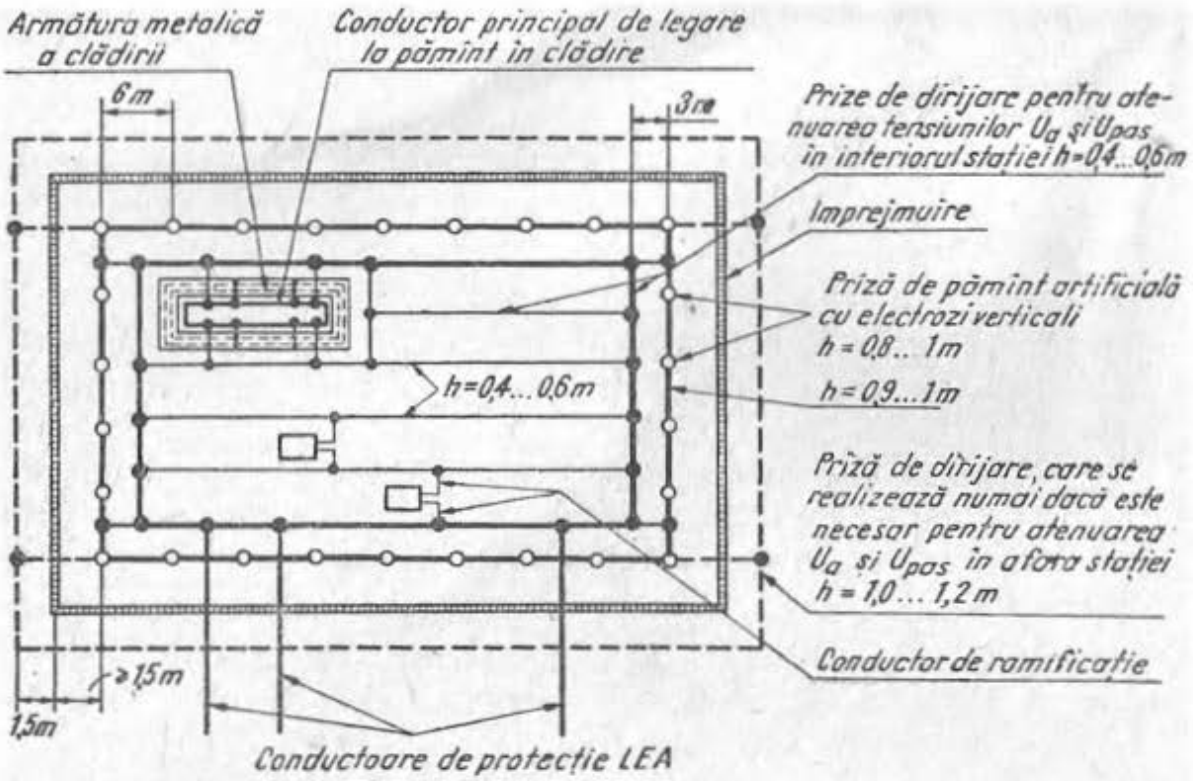


Fig. 10.2.

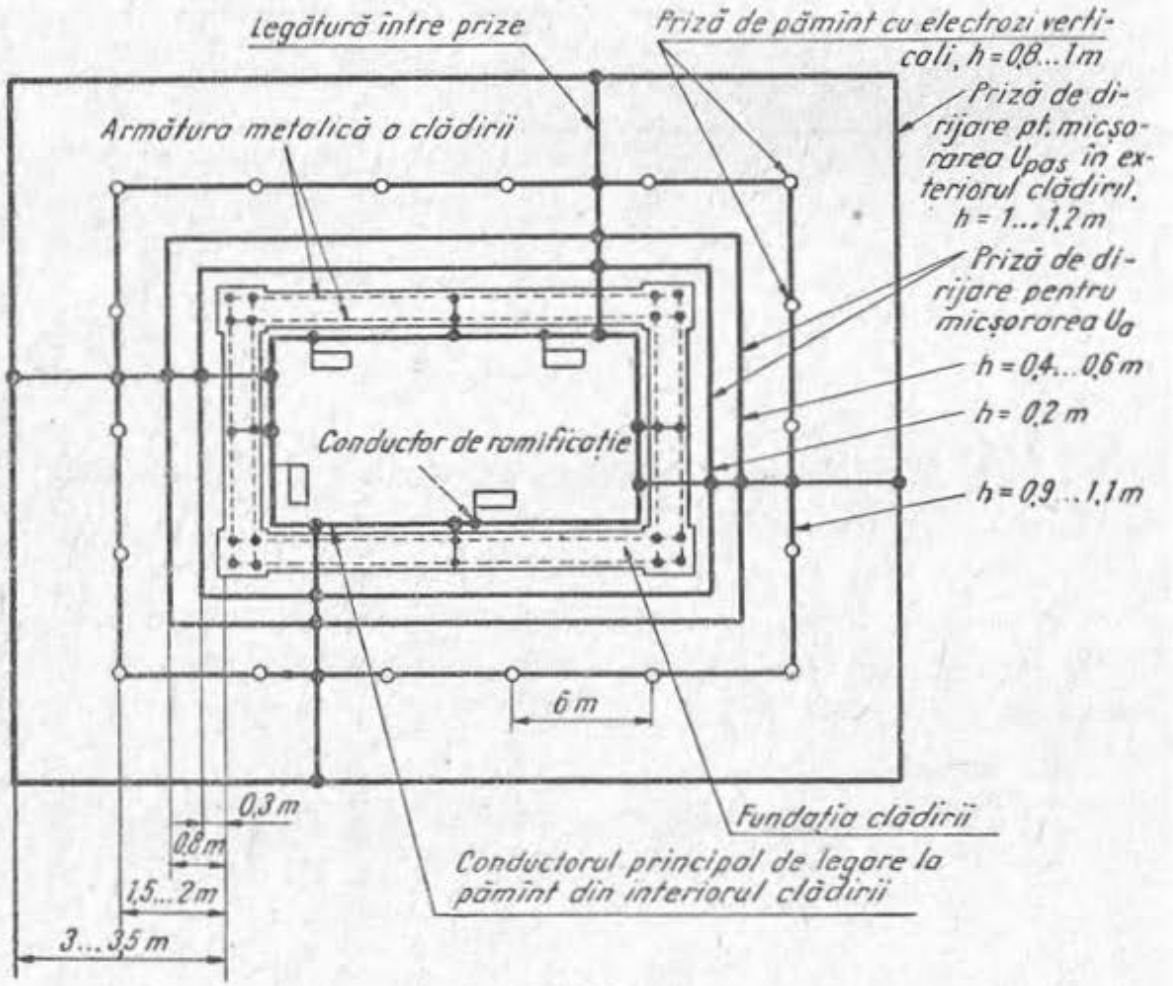


Fig. 10.3.

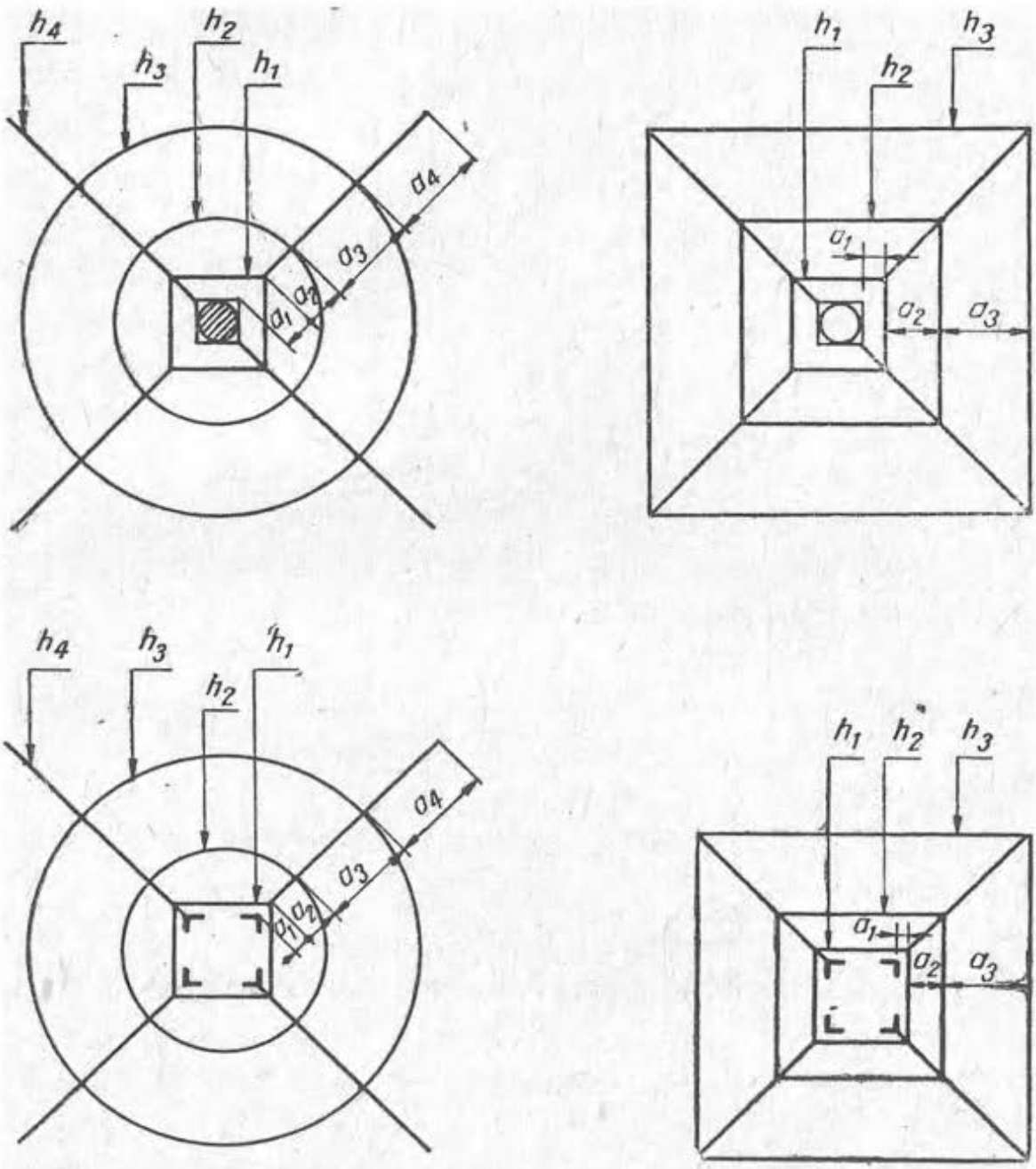

h4
h3
h2
h1
a4
a3
a2
a1
h1
h2
h3
a1
a2
a3
h4
h3
h2
h1
a4
a3
a2
a1
h1
h2
h3
a1
a2
a3

Fig. 10.4.

Tabelul 10.4

Număr curent probă	Denumirea probei	Momentul efectuării probei			
		PIF	MR	ÎE	Alte momente de efectuare a probei
10.2.1	Măsurarea rezistenței de dispersie	X	X	—	A. Instalații de înaltă tensiune — 5 ani, în centrale și stații ; — 10 ani, LEA ; PT și PA B. Instalații de joasă tensiune — 2 ani în instalații obișnuite — 0,5 ani în instalații subterane — 5 ani la LEA
10.2.2	Verificarea gradului de corodare	—	—	—	La 10 ani
10.2.3	Verificarea continuității legăturilor	X	X	X	—
10.2.4	Verificarea rezistivității solului	X	—	—	—
10.2.5	Măsurarea tensiunilor de atingere și de pas	X	X	—	—
10.2.6	Verificarea transmiterii tensiunilor periculoase prin obiecte metalice lungi	X	—	—	—

10.2.1. *Măsurarea rezistenței de dispersie*

Măsurarea rezistenței de dispersie se poate face prin mai multe metode.

10.2.1.1. **Măsurarea rezistenței de dispersie a prizelor de pământ prin metoda voltmetrului și ampermetrului.** Conform celor prezentate, rezistența de dispersie R_p, se definește cu ajutorul legii lui Ohm prin relația :

$$R_p = \frac{U_{pr}}{I_{pp}}$$

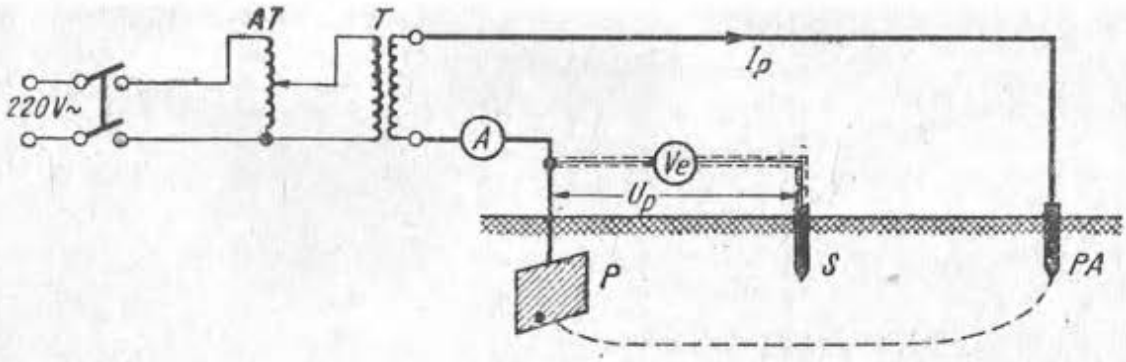


Fig. 10.5.

Introducînd deci în priza de pămînt un curent de o anumită valoare I_p, se poate determina față de o zonă de potențial nul, o tensiune U_p. Cunoscînd cele două valori și introducîndu-le în formula de mai sus, rezistența de dispersie va fi :

$$R_p = \frac{U_p}{I_p} \ [\Omega]$$

În fig. 10.5 este prezentat montajul pentru măsurarea rezistenței de dispersie R_p.

Întregul montaj se alimentează de la tensiunea de 220 Vc.a. prin intermediul autotransformatorului AT și al transformatorului T. Transformatorul T poate fi un transformator de sudură, separație etc., capabil să furnizeze un curent de cîțiva zeci sau sute de amperi, la o tensiune care să nu depășească, din considerente de protecția muncii, 60—70 V. P reprezintă priza care se verifică ; S este o sondă montată în zona de potențial nul, față de care se va măsura tensiunea U_p ; PA este o priză auxiliară, prin intermediul căreia se introduce în priza P, curentul I_p.

Pentru măsurările curente, sonda S, ca și priza auxiliară PA, este confecționată din cîte o vergea sau țeavă metalică, de 20—50 mm grosime, ascuțită la unul din capete și de lungime suficient de mare, ca la nevoie să poată fi introdusă în pămînt pînă la adîncimi de 1—2 m.

În timpul probei, pentru a nu se produce electrocutări, se recomandă ca partea superioară a sondei S să fie izolată. Operatorul care manevrează această sondă trebuie să țină mîna numai pe partea izolată a acesteia și să poarte cizme

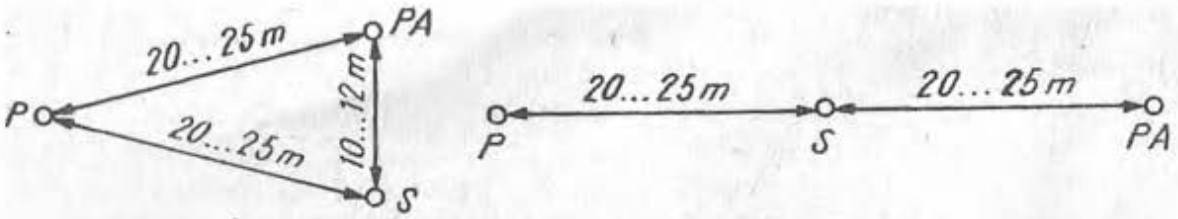


Fig. 10.6.

dielectrice. În cazul că partea superioară nu este izolată operatorul trebuie să folosească mănuşi izolante de joasă tensiune.

Pentru precizia măsurărilor şi pentru a nu fi nevoiţi să utilizăm curenţi I_p prea mari, voltmetrul *Ve* trebuie să aibă rezistenţa interioară cît mai mare, fiind de preferat un voltmetru electronic.

Pentru a evita influenţele parazite, cordoanele folosite pentru alimentarea acestui aparat vor fi în mod obligatoriu ecranate.

În principiu, sondele *S* şi *PA*, se montează ca în fig. 10.6, pentru prize singulare sau de întindere mică şi ca în fig. 10.7, pentru prize de întindere mare.

Practic, pentru a determina zona de potenţial nul în care să fixăm sonda *S*, se aşează mai întîi sonda *PA* conform fig. 10.6 sau fig. 10.7. Se reglează apoi un curent I_p, de o valoare suficient de mare (zeci sau sute de amperi), pentru ca atunci cînd se introduce în pămînt sonda *S*, voltmetrul electronic *Ve* să aibă o deviaţie care să permită o citire corectă (în ultima treime a scalei sale).

Citirile se fac în mod succesiv, prin introducerea în pămînt a sondei *S*, la intervale de 1 m (mergînd pe direcţiile indicate în fig. 10.6 şi fig. 10.7), pînă cînd se ajunge într-o

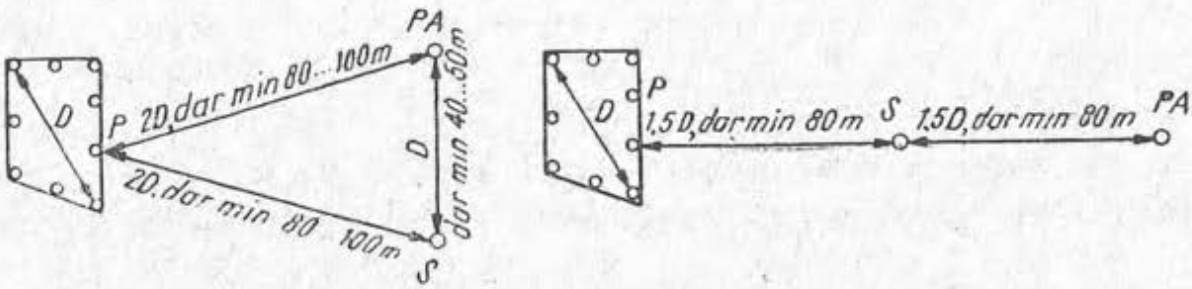


Fig. 10.7.

zonă în care creşterile de tensiune devin neglijabile. Această zonă reprezintă zona de potenţial nul, în care se va fixa sonda *S*. O creştere bruscă a valorilor măsurate indică ieşirea din zona de potenţial nul şi intrarea în zona de influenţă a prizei auxiliare *PA*.

În cazul prizelor de întindere mare (staţii), pentru precizia măsurărilor se recomandă ca priza *PA* să aibă o rezistenţă $\leqslant 10\ \Omega$. Deoarece această valoare nu poate fi obţinută cu o priză simplă (vergea sau ţeavă), se poate utiliza în acest scop :

— Priza unui post de transformare scos de sub tensiune şi legat printr-o LEA, de staţia a cărei priză se verifică. Priza postului devine priza *PA*, curentul introducîndu-se prin una din fazele liniei. În acelaşi timp, trebuie avut în vedere să nu existe nici o legătură galvanică între staţie şi post (prin mantalele unor cabluri, legate la cele două prize sau prin conductorul de protecţie al liniei).

— Priza unuia din stîlpii de la o LEA de înaltă tensiune din vecinătatea staţiei (care nu este momentan sub tensiune), după ce, în prealabil, legătura prizei cu stîlpul a fost deconectată.

În lipsa acestora, mai pot fi utilizate ţevi, şine, diverse construcţii metalice îngropate în pămînt şi nelegate la priza care se verifică sau mai mulţi ţăruşi de 2—3 m lungime, bătuţi în pămînt la 3—4 m unul de altul şi legaţi în paralel.

După determinarea zonei de potenţial nul şi fixarea sondelor *S* şi *PA*, se deconectează alimentarea montajului de la reţea şi se verifică la voltmetrul *Ve* lipsa unei tensiuni perturbatoare U_0, care poate fi produsă de curenţi vagabonzi prin pămînt. Aceştia pot apărea ca urmare a funcţionării în apropierea prizei a unor transformatoare de sudură sau a tracţiunii electrice.

În caz că tensiunea U_0 nu există sau este neglijabilă faţă de valoarea U_p măsurată $\left(U_0 \leqslant \frac{U_p}{40 \div 50}\right)$, rezistenţa de dispersie a prizei rezultă din relaţia :

$$R_p\,[\Omega] = \frac{U_p\,[\mathrm{V}]}{I_p\,[\mathrm{A}]}$$

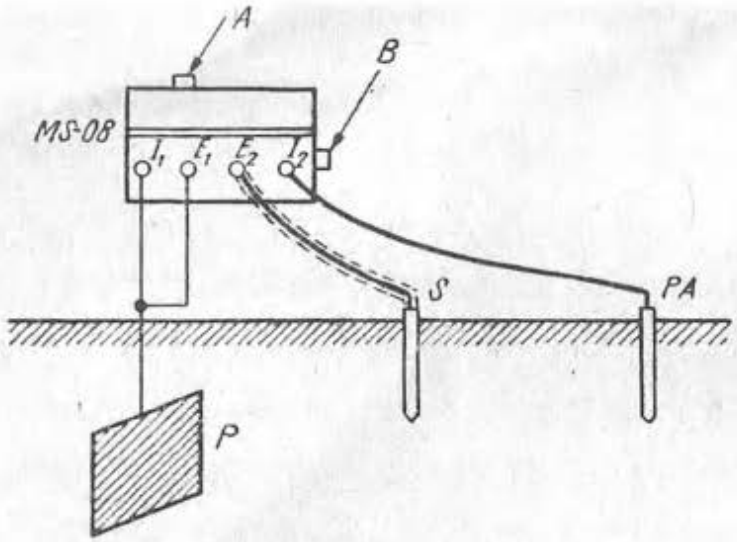


Fig. 10.8.

Dacă tensiunea U_0, are valori mari, rezistența prizei se determină cu relația [78 ; 79] :

$$R_p = \frac{1}{I_p}\sqrt{\frac{U_{p1}^2 + U_{p2}^2}{2} - U_0^2} \quad [\Omega]$$

unde U_{p1} și U_{p2} sînt valorile citite la voltmetrul *Ve*, prin inversarea fazei la sursa de alimentare.

Citirile la ampermetru și voltmetru trebuie efectuate simultan.

10.2.1.2. **Măsurarea rezistenței de dispersie cu ajutorul aparatului MS-08.** Aparatul MS-08, de fabricație sovietică, este construit pe principiul logometric.

Montarea aparatului pentru măsurarea rezistenței de dispersie se face ca în fig. 10.8, sondele *S* și *PA* (țăruși ca la § 10.2.1.1) fixîndu-se, după caz, ca în fig. 10.6 sau fig. 10.7.

El permite măsurarea rezistențelor între 0,1 și 1 000 Ω, avînd trei domenii de măsurare și clasă de precizie 1,5.

Pentru ca aparatul să se înscrie în clasa de precizie pentru care a fost construit, este necesar ca rezistența de dispersie a sondei *S* și a prizei auxiliare *PA* să nu depășească valorile maxime indicate în tabelul 10.5.

Tabelul 10.5

Domeniul de măsurare [Ω]	0 – 10	1 – 100	10 – 1000
Rezistența prizei auxiliare *PA* [Ω]	250	500	1 000
Rezistența sondei *S* [Ω]	1 000		

O micșorare a rezistențelor de dispersie a sondelor *S* și *PA* se poate obține stropind pămîntul din jurul electrozilor cu apă simplă sau sărată.

Pentru efectuarea măsurărilor, zona de potențial nul se determină mărind distanța între sonda *S* și priza *P*, pînă cînd valorile citite la aparat nu mai cresc. O creștere bruscă a acestei valori indică intrarea în zona de influență a prizei auxiliare *PA*.

După fixarea definitivă a sondelor *S* și *PA*, se efectuează operația de compensare a rezistențelor din circuitul de potențial. Pentru aceasta, butonul *A* pentru alegerea domeniilor de măsurare se așează pe poziția de calibrare (fig. 10.8) și rotind manivela cu o viteză de 120 – 130 rot/min, se acționează asupra butonului *B*, pînă cînd acul aparatului ajunge în dreptul liniuței de culoare roșie de pe scala aparatului.

În urma acestor operații, se poate trece la efectuarea măsurărilor propriu-zise. Butonul *A* se fixează pe unul din domenii, butonul *B* rămînînd pe poziția fixată. Rotind manivela cu o turație de 90 – 150 rot/min, se citește deviația acului și ținînd cont de poziția pe care se află butonul *A*, se determină rezistența de dispersie a prizei în Ω.

Dacă în timpul măsurărilor echilibrarea aparatului se face imprecis, înseamnă că rezistența de dispersie a prizei *PA* este prea mare. Pentru măsurarea ei, se inversează conexiunile la bornele I_1 și I_2 ale aparatului MS-08. În caz că valoarea măsurată depășește pe cea indicată în tabelul 10.5 pentru domeniul respectiv, se ia una din măsurile indicate mai sus.

10.2.1.3. **Măsurarea rezistenței de dispersie cu ajutorul aparatului APP-3.** Aparatul APP-3, de producție românească, este construit pe principiul compensării. El dispune de 4 domenii de măsurare : 1 ; 10 ; 100 și 1 000 Ω, fiind un

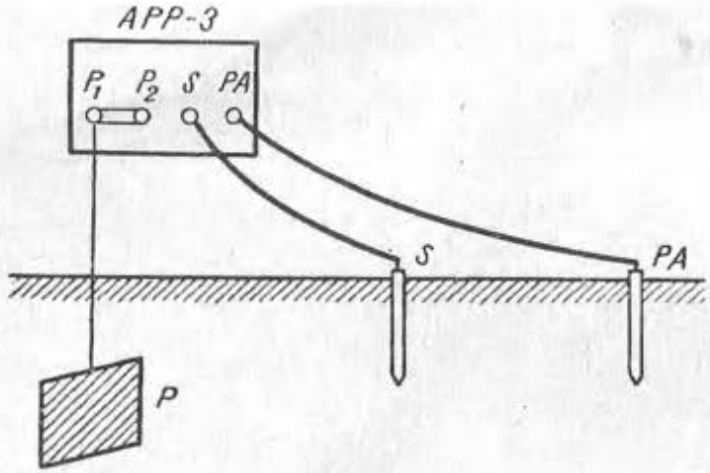


Fig. 10.9.

aparat de clasă de precizie 5. Pentru efectuarea măsurărilor, aparatul se conectează ca în fig. 10.9.

Dispunerea sondelor S și PA (țăruși de 1—2 m) față de priza verificată P, se face ca în fig. 10.10, adîncimea de îngropare a electrozilor în pămînt fiind de 0,3...1 m.

Înaintea începerii măsurării propriu-zise, se verifică tensiunea bateriilor de alimentare, se aduce acul indicator la zero și se face corecția pentru anularea erorilor provocate de modificările temperaturii exterioare sau de încălzirea tranzistoarelor.

Dacă în urma efectuării măsurilor echilibrarea punții nu se face precis, rezultă că rezistențele prizelor S și PA depășesc valorile indicate în tabelul 10.6, pentru aparatul APP-3.

Tabelul 10.6

Limita domeniului de măsurare [Ω]	1	10	100	1000
Rezistența prizei auxiliare PA [Ω]	50	500	1 000	10 000
Rezistența sondei S [Ω]	1 000	2 500	10 000	50 000

Măsurarea rezistenței de dispersie a prizei PA se face inversînd conductoarele ce vin la bornele P_1 și PA. În caz că se obțin valori necorespunzătoare, se procedează ca mai sus.

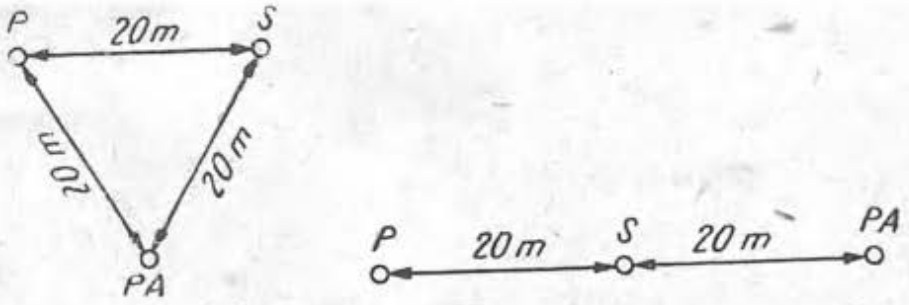


Fig. 10.10.

Utilizarea metodei ampermetrului și voltmetrului, deși pare ceva mai greoaie ca realizare, permite efectuarea unor măsurări de mare precizie, mai ales în cazul cînd se măsoară rezistențe de dispersie de valoare foarte mică (stații de înaltă tensiune).

Folosirea aparatelor MS-08 sau APP-3 este mult mai simplă, dar nu oferă totdeauna o precizie suficientă.

Orientativ, în lipsa valorilor din proiect, rezistențele de dispersie nu trebuie să depășească valorile indicate în tabelul 10.7.

Tabelul 10.7

Instalația	Valoarea maximă a rezistenței de dispersie [Ω]
Stații de înaltă tensiune	0,3
Stîlpi de înaltă tensiune	10,0
Stîlpi de medie tensiune din zone locuite	12,5
Posturi de transformare	10,0
Priza de legare la pămînt a conductorului de nul de la LEA de J.T.	10,0

10.2.2. *Verificarea gradului de corodare*

Proba se execută prin dezgroparea porțiunilor de intrare în sol a legăturilor la priză, pe o adîncime de 0,3—1 m [5], la:

— stîlpii LEA cu aparataj ;

— circa 2% din legăturile la priza de pămînt a centralelor, stațiilor sau posturilor de transformare ;

— circa 2% din stîlpii LEA, aflați în zone cu circulație frecventă din localități.

În caz că există corodare, aceasta nu trebuie să depășească 1/3 din secțiunea electrodului.

10.2.3. *Verificarea continuității legăturilor de ramificație la instalația de punere la pămînt*

Pentru efectuarea probei se utilizează montajul din fig. 10.11, în care *AT* este un autotransformator de 250 V/8 A, iar *TC* — o trusă de curent de 1 200 A.

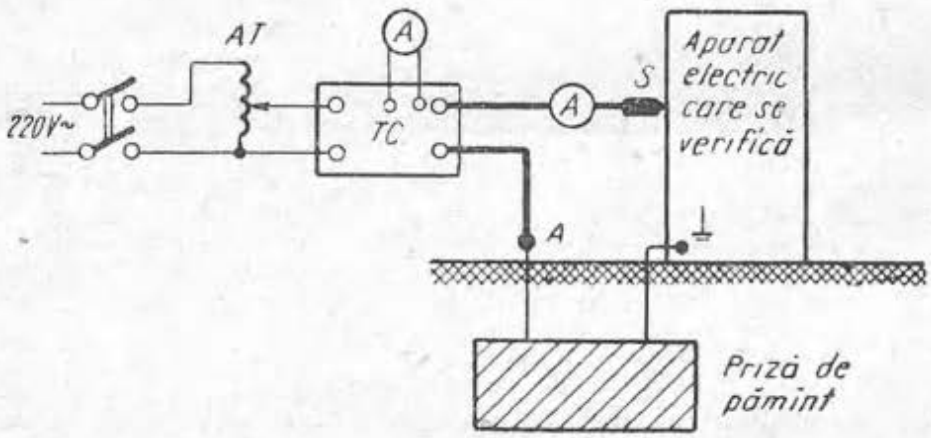


Fig. 10.11.

Inițial, prin scurtcircuitarea cordoanelor, se reglează un curent de 25—30 A. Lăsînd trusa pe curentul reglat, se fixează cordonul *A* la unul din conductoarele principale de legare la priză și se aplică sonda *S*, timp de 20 minute pe fiecare din carcasele metalice ale aparatelor din stație sau post.

În timpul probei, nu trebuie să apară scăderi ale curentului sub valoarea fixată cu mai mult de 10%, scîntei, arcuri electrice sau încălziri locale la îmbinări sau contacte.

10.2.4. *Măsurarea rezistivității solului*

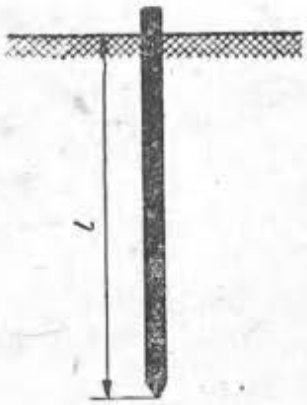


Fig. 10.12.

Pentru măsurarea rezistivității solului se pot utiliza mai multe metode. Dintre acestea menționăm :

— metoda electrodului de control ;

— metoda celor patru electrozi.

10.2.4.1. **Metoda electrodului de control.** La efectuarea măsurărilor se folosește o priză formată dintr-un singur electrod, pentru care se cunoaște relația de calcul al rezistenței de dispersie. De exemplu, pentru un electrod vertical, din țeavă de oțel, de lungime l, de diametru d, cu partea superioară aflată la suprafața solului (fig. 10.12), formula de calcul este :

$$R_p = 0{,}366 \frac{\rho}{l} \cdot \lg \frac{4l}{d},$$

în care ρ este rezistivitatea solului.

Din formula precedentă rezultă :

$$\rho = \frac{R_p l}{0{,}366 \lg \frac{4l}{d}}$$

Dacă lungimea electrodului nu depășește 6 m, se poate folosi formula aproximativă :

$$\rho = \frac{R_p l}{0{,}9}$$

Determinînd rezistența de dispersie R_p cu una din metodele prezentate la § 10.2.1, rezultă rezistivitatea ρ. Prin această metodă, se obține rezistivitatea medie a solului pînă la adîncimea l.

Pentru a se obține o imagine completă a modului de variație a rezistivității solului pe toată aria ocupată de viitoarea priză, se vor executa mai multe măsurări, în diverse puncte ale acestei suprafețe.

10.2.4.2. **Metoda celor 4 electrozi.** Pentru efectuarea probei, se utilizează 4 electrozi *(A, B, M, N)* aşezaţi în linie dreaptă (fig. 10.13). Se măsoară curentul I, care trece între electrozii A, B şi căderea de tensiune ΔU, dintre electrozii M şi N.

Rezistivitatea solului se determină cu formula :

$$\rho = K \frac{\Delta U}{I},$$

în care K este un factor geometric depinzînd de poziţia reciprocă a celor 4 electrozi. Valoarea acestui factor este indicată în tabelul 10.8, pentru două variante de amplasare a electrozilor :

Tabelul 10.8

Valorile lui K [m] pentru varianta de amplasare a) sau b)				
Fig. 10.13, *a*			Fig. 10.13, *b*	
$\frac{\overline{AB}}{2}$	$\overline{MN}$	$K = \pi \frac{\overline{OA^2} - \overline{OM^2}}{\overline{MN}}$	a	$K = 2\pi \cdot \overline{MN}$
0,75	0,50	3,14	0,5	3,14
1,50	0,50	13,74	1,0	6,28
2,25	0,50	31,40	1,5	9,42
3,00	0,50	56,13	2,0	12,56
3,75	0,50	87,92	2,5	15,70
4,50	0,50	126,78	3,0	18,84
6,00	0,50	225,69	4,0	25,12
6,00	2,00	54,95	—	—
7,50	0,50	352,86	5,0	31,40
7,50	2,00	86,74	—	—
9,00	2,00	125,60	6,0	37,68
12,00	2,00	224,51	8,0	50,24
15,00	2,00	351,68	10,0	62,80
22,50	2,00	793,24	15,0	94,20

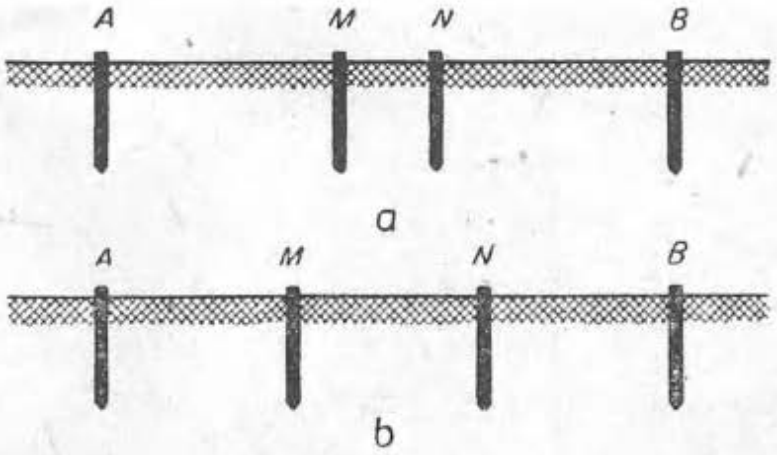


Fig. 10.13.

fig. 10.13, a — $AB \gg MN$

fig. 10.13, b — $AM = MN = NB = a$

Raportul $\frac{\Delta U}{I}$ din formula rezistivității se determină măsurînd separat ΔU și I, prin metoda ampermetrului și voltmetrului (fig. 10.14) sau măsurînd direct raportul $\frac{\Delta U}{I}$, cu ajutorul aparatelor MS-08 sau APP-3 (fig. 10.15).

În fig. 10.15, indicii din paranteză corespund situației cînd se utilizează aparatul APP-3. Adîncimea de îngropare a electrozilor trebuie să fie $h \leqslant \frac{AB}{60}$. Prin această metodă se obține rezistivitatea medie a solului, de la suprafață pînă la o adîncime egală cu jumătate din distanța dintre elec-

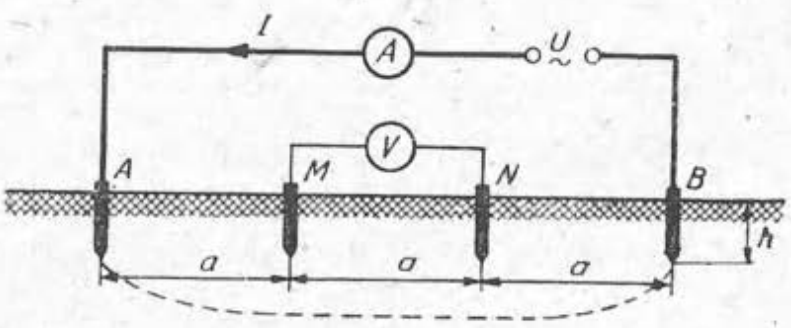


Fig. 10.14.

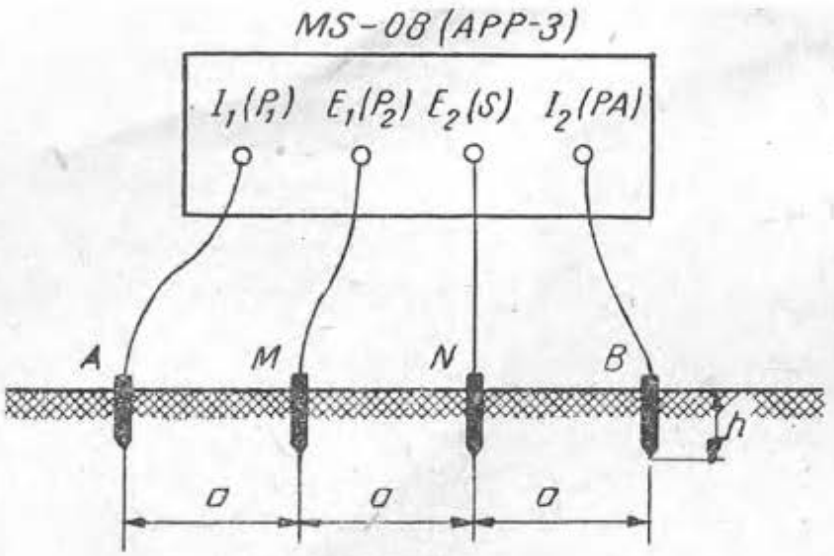


Fig. 10.15.

trozii de curent AB (solul se consideră omogen din punct de vedere al rezistivității).

Măsurările trebuie efectuate de regulă în perioadele călduroase și uscate, nefiind permisă efectuarea unor probe în soluri înghețate.

Cînd condițiile de efectuare a măsurărilor diferă de cele prescrise mai sus, rezistivitatea ce se ia în considerare în calcule (ρ_{calcul}), se obține cu formula:

$$\rho_{calcul} = \rho \cdot \psi,$$

unde ρ este rezistivitatea măsurată prin una din metodele precedente; ψ — coeficient de variație a rezistivității solului în funcție de umiditatea acestuia în momentul măsurării (tabelul 10.9).

Tabelul 10.9

h [m]	ψ		
	Sol foarte umed	Sol cu umiditate medie	Sol uscat
$0{,}3 < h \leqslant 0{,}5$	6,5	5,0	3,5
$0{,}5 < h \leqslant 0{,}8$	3,0	2,0	1,5
$0{,}8 < h \leqslant 4$	1,5	1,3	1,1
$4 < h$	1,2	1,1	1,0

În tabel, h reprezintă adîncimea de îngropare a electrozilor.

În cazul cînd se dorește măsurarea rezistivității în soluri neomogene, se pot folosi indicațiile din STAS 6119-78, anexa B.

10.2.5. *Măsurarea tensiunilor de atingere și de pas*

10.2.5.1. **Determinarea coeficienților și tensiunilor de atingere.** Conform [77], la determinarea coeficientului de atingere maxim, se vor lua în considerare următoarele obiecte :

— *în stațiile interioare*, obiectele care sînt mai îndepărtate de conductoarele principale de legare la pămînt ;

— *în stațiile exterioare*, obiectele mai îndepărtate de electrozii prizelor de pămînt sau ai celor de distribuție a potențialelor.

În exteriorul clădirilor, se va avea în vedere posibila atingere a pereților exteriori chiar în timpul defectului, fapt pentru care se va efectua cîte o măsurare pentru fiecare latură a clădirii.

Pentru efectuarea măsurărilor, se va determina mai întîi potențialul U'_p al obiectului verificat, față de o zonă de potențial nul, utilizînd montajul din fig. 10.16.

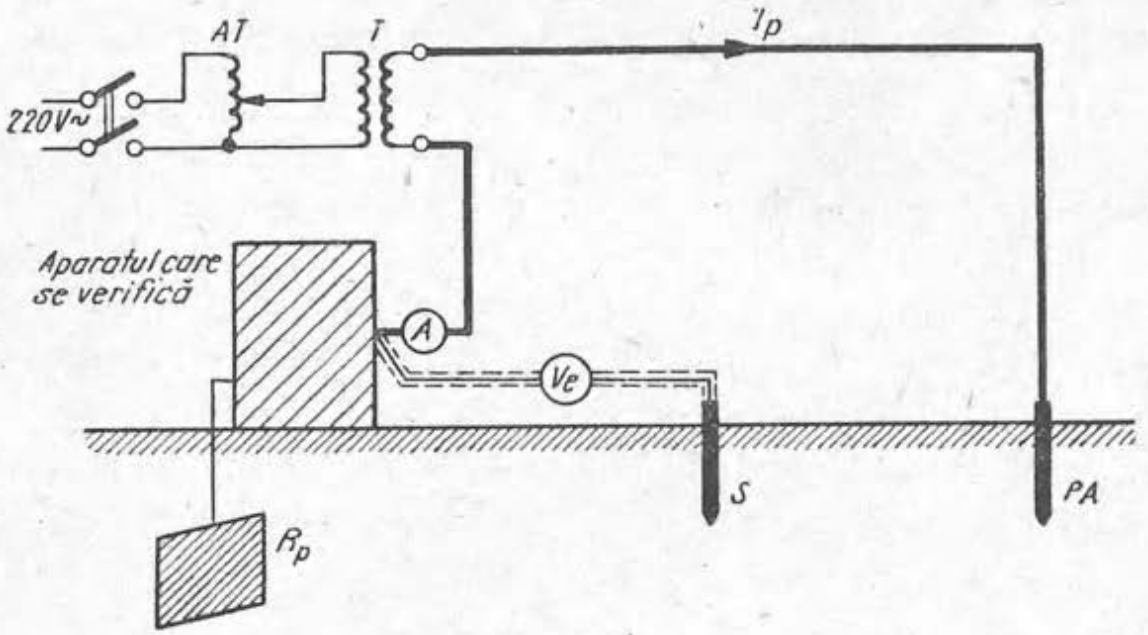


Fig. 10.16.

Aparatele utilizate, amplasarea sondelor S și PA, precum și modul de lucru cu acest montaj sînt identice cu cele descrise la § 10.2.1.

În faza următoare, utilizînd montajul din fig. 10.17, se determină față de zona de potențial nul, potențialul

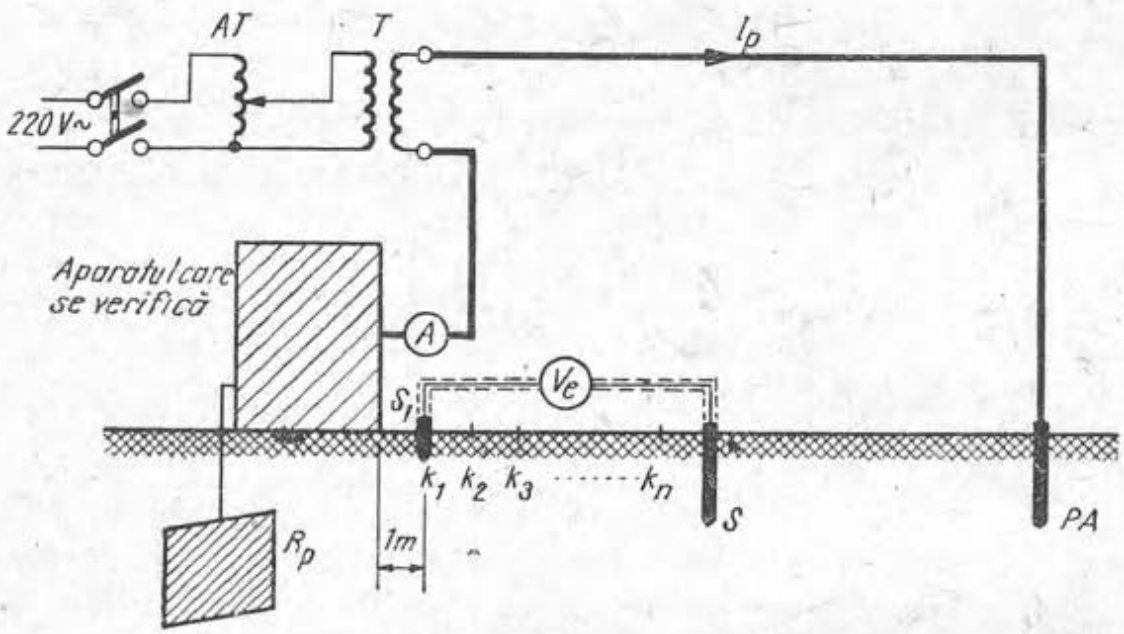


Fig. 10.17.

U'_{k1} al unui punct K_1 situat la 1 m distanță de obiectul ce se verifică.

În ambele faze ale măsurării, curentul I_p în circuit, trebuie să aibă aceeași valoare (cîteva zeci de amperi).

Sonda S_1 din punctul K_1 se introduce în pămînt la o adîncime de circa 5—10 cm.

În cazul cînd măsurarea se execută pe amplasamente din beton, în locul sondei S_1 se folosește o placă metalică nevopsită, cu suprafața de 200—300 cm², pe care se așează o greutate suficient de mare, astfel încît contactul să fie cît mai bun. Suprafața betonului trebuie udată cu apă simplă sau sărată.

Tensiunea de atingere raportată la curentul I_p, va fi:

$$U'_a = U'_p - U'_{k1} \quad [V].$$

Coeficientul de atingere pentru obiectul verificat este dat de relația :

$$K_a = \frac{U'_p - U'_{k1}}{U'_p} = \frac{U'_a}{U'_p}$$

Valoarea reală a tensiunii de atingere pentru același obiect va fi :

$$U_a = K_a \cdot U_{pr} = K_a \cdot R_p \cdot I_{pp} \quad [V]$$

în care : $U_{pr} = R_p \cdot I_{pp}$ reprezintă valoarea tensiunii totale a instalației de legare la pămînt în cazul unui defect real (vezi § 10.1), față de punctul suficient de depărtat de priză și avînd potențialul zero ; R_p [Ω] — rezistența de dispersie a prizei de pămînt la care este legat obiectul ce se verifică (măsurată prin una din metodele de la § 10.2.1); I_{pp} [A] — curentul de punere la pămînt, indicat în proiectul de execuție al instalației respective.

10.2.5.2. **Determinarea coeficienților și a tensiunilor de pas.** Conform [77], pentru determinarea coeficientului de pas maxim, se vor întocmi curbe de distribuție a potențialelor pe următoarele direcții :

În stațiile exterioare, în interiorul și exteriorul împrejurimilor astfel :

— din centrul stației pe două direcții perpendiculare între ele și pe laturile conturului prizei de pămînt ;

— din centrul stației pe diagonalele suprafeței cuprinse în conturul instalației de legare la pămînt.

La instalațiile de legare la pămînt din imediata apropiere a clădirilor :

— pe direcții perpendiculare pe laturile clădirii ;

— pe diagonale, pornind din colțurile clădirii.

Pentru efectuarea măsurărilor se utilizează un montaj asemănător celui din fig. 10.16 și fig. 10.17 cu deosebire că, pentru conectarea circuitului de curent, în locul obiectului care se verifică din fig. 10.16 și fig. 10.17, va fi utilizat un punct din centrul stației (practic un conductor de legare

la pămînt al unuia din aparatele aflate în acest loc). Pentru fiecare din direcțiile menționate mai sus, sondele S și PA vor fi amplasate conform celor menționate la § 10.2.1, astfel încît sonda S să se găsească într-o zonă de potențial nul.

Cu montajul din fig. 10.16, se determină tensiunea U'_{p1} a punctului situat în centrul stației, față de zona de potențial nul de pe direcția respectivă.

Cu montajul din fig. 10.17, se determină în mod succesiv tensiunile U'_{k1}, U'_{k2}, $U'_{k3}, \ldots, U'_{kn}$, față de zona de potențial nul, a unor puncte K_1, $K_2, \ldots, K_n$, situate pe direcția aleasă, la 1 m unul de celălalt.

În tot timpul măsurărilor, curentul I_p în circuit trebuie să fie menținut la o valoare riguros constantă.

Pentru fiecare direcție de măsurare, se vor determina cîte un șir de tensiuni și coeficienți de pas, raportați la curentul I_p, astfel:

$$U_{pas1} = U'_{k1} - U'_{k2} \qquad K_{pas1} = \frac{U'_{k1} - U'_{k2}}{U'_{p1}}$$

$$U_{pas2} = U'_{k2} - U'_{k3} \qquad K_{pas2} = \frac{U'_{k2} - U'_{k3}}{U'_{p1}}$$

$$\cdots \qquad \cdots$$

$$U_{pasn} = U'_{kn} - U'_{kn+1} \qquad K_{pasn} = \frac{U'_{k_n} - U'_{k_{n+1}}}{U'_{p1}}$$

Valorile reale ale tensiunilor de pas, U_{pas}, se obțin pentru fiecare din punctele K_1, $K_2, \ldots, K_n$ ale direcției respective, cu relația:

$$U_{pas_i} = K_{pas_i} \cdot U_{pr} = K_{pas_i} \cdot R_p \cdot I_{pp},$$

unde $U_{pr} = R_p \cdot I_{pp}$ reprezintă valoarea tensiunii totale a instalației de legare la pămînt în cazul unui defect real, față de punctul suficient de depărtat de priză și avînd potențialul zero; R_p [Ω] — rezistența de dispersie a prizei de legare la pămînt (măsurată cu una din metodele de la

§ 10.2.1) ; I_{pp} [A] — curentul de punere la pămînt, indicat în proiectul de execuţie al instalaţiei respective ; $i = 1 \ldots n$, numărul punctelor de măsurare.

Pentru fiecare din direcţiile de măsurare, se va ridica o curbă de distribuţie a potenţialelor $U_p = f(l)$, (fig. 10.18),

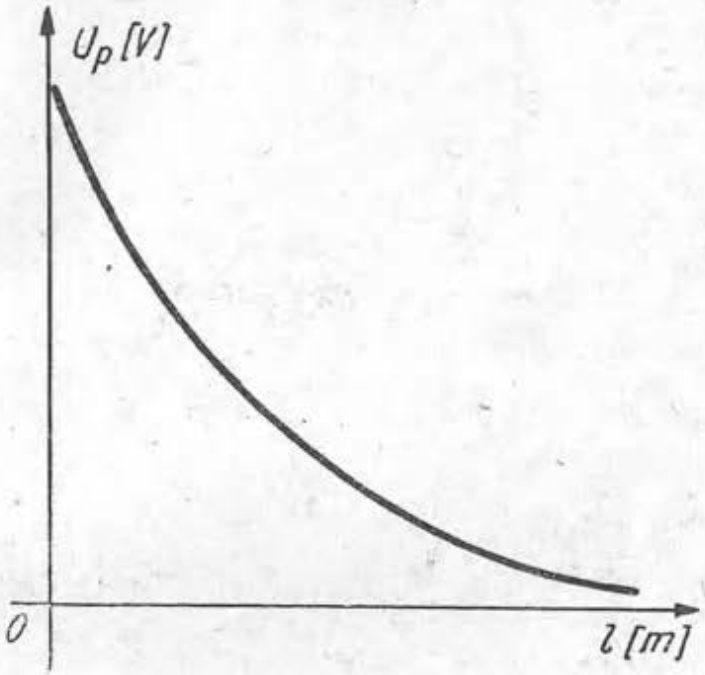


Fig. 10.18.

unde l[m] reprezintă diverse distanţe din centrul staţiei, către zona de potenţial nul.

Valorile tensiunilor de atingere şi de pas obţinute în urma măsurărilor trebuie să se încadreze în prevederile documentaţiei din proiect sau, în lipsa acestora, în valorile indicate în tabelul 10.1, sau 10.2.

Conform [5] nu se execută măsurarea U_a şi U_{pas} la instalaţiile de legare la pămînt la care tensiunea U_{pp} a prizei în cazul unui defect real, este mai mică decît valorile admise pentru tensiunile de atingere şi de pas.

În cazul în care valorile măsurate ale tensiunilor de atingere şi de pas depăşesc valorile admisibile, se poate proceda la izolarea amplasamentelor respective cu :

— piatră sfărîmată de granulaţie mare ($\Phi \geqslant 30$ mm), curată, fără pămînt, într-un strat de 15—20 cm, care poate duce la reducerea U_a şi U_{pas} de 2 ori ;

— un strat de asfalt de 2—4 cm grosime, care poate duce la reducerea U_a şi U_{pas} de 5 ori.

10.2.6. *Verificarea transmiterii tensiunilor periculoase prin obiecte metalice lungi*

Pentru efectuarea probei, se măsoară tensiunile de atingere și de pas în zona obiectelor lungi, care sînt în contact cu instalația de protecție sau cu puncte de pe sol, care în caz de defect, pot avea potențiale ridicate.

Astfel de obiecte metalice lungi pot fi :

— șine de cale ferată ;

— conducte de apă sau cu alte destinații ;

— învelișurile metalice ale cablurilor, etc.

Tensiunile se măsoară prin metodele prezentate, valorile obținute netrebuind să depășească pe cele de la § 10.1.

11. Baterii de acumulatoare cu plăci de plumb. Generalităţi, verificări

11.1. Generalităţi, caracteristici

Bateriile de acumulatoare cu plăci de plumb se montează în centrale şi staţii electrice, pentru a asigura alimentarea cu curent continuu a circuitelor de comandă, protecţie, semnalizare, indiferent de starea circuitelor primare (funcţionare normală, avarie, întrerupere etc.).

Principalele caracteristici tehnice ale acestor baterii [80] sînt indicate în tabelul 11.1.

Tabelul 11.1

Tipul elementului	Tipul plăcii pozitive	Capacitatea de descărcare a bateriei (Ah)				Curentul maxim de încărcare I_{max} [A]	Curentul de descărcare pentru verificarea capacităţii [A]
		la 10 h (C_{10})	la 5 h (C_5)	la 3 h (C_3)	la 1 h (C_1)		
1	2	3	4	5	6	7	8
LS-1	L-1	36	31	27	19	9	3,6
LS-2	L-1	72	62	54	38	18	7,2
LS-3	L-1	108	93	81	57	27	10,8
LS-4	L-1	144	124	108	76	36	14,4
LS-5	L-1	180	155	135	95	45	18,0
LS-6	L-1	216	186	162	144	54	21,6
LS-8	L-2	288	248	216	152	72	28,8

Tabelul 11.1 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8
LS-10	L-2	360	310	270	190	90	36,0
LS-12	L-2	432	372	324	228	108	43,2
LS-14	L-2	504	434	378	266	126	50,4
LS-16	L-2	576	496	432	304	144	57,6
LS-18	L-2	648	558	486	342	162	64,8
LS-20	L-2	720	620	540	380	180	72,0
LS-22	L-2	792	682	594	418	198	79,2
LS-24	L-2	864	744	648	456	216	86,4
LS-26	L-2	936	806	702	494	234	93,6
LS-28	L-2	1 008	868	756	532	252	100,8

11.2. Formarea bateriilor de acumulatoare cu plumb utilizate în centrale, stații și posturi de transformare

Formarea bateriilor de acumulatoare este o operație deosebit de importantă, prin care se urmărește ca o baterie nou montată să fie adusă într-o stare corespunzătoare parametrilor nominali de funcționare.

Înaintea începerii formării, bateria trebuie să fie complet montată și echipată cu toate accesoriile, iar panourile de servicii interne și redresoarele trebuie să fie în perfectă stare de funcționare.

Elementele bateriei se umplu cu acid sulfuric cu densitatea de 1,18 g/cm^3, cînd plăcile de plumb sînt la prima formare (culoare alburie) sau cu acid sulfuric cu densitatea de 1,20 g/cm^3, cînd plăcile de plumb sînt la a doua formare (culoare castanie). Acidul trebuie să depășească marginea superioară a separatoarelor dintre plăcile de plumb, cu 15—20 mm.

Pentru ca plăcile să fie pătrunse bine de electrolit, se recomandă ca după umplere, bateria să fie lăsată 4—6 ore în repaus, înaintea începerii încărcării de formare.

Curentul recomandat a fi utilizat la formarea bateriilor este de 7 A, pentru un element LS-1. Pentru bateriile de capacitate mai mare, curentul crește proporțional. La o baterie LS-4, de exemplu, curentul recomandat va fi : 7 A $\times$ 4 = = 28 A.

În situația în care nu se poate regla valoarea de mai sus, formarea bateriei se poate executa și cu un curent cuprins între 0,4 I_{max} și I_{max}, în care I_{max} reprezintă curentul maxim de încărcare din tabelul 11.1.

Formarea bateriei decurge în modul următor :

— încărcare 14 ore, pauză 1 oră ;
— încărcare 6 ore, pauză 1 oră ;
— încărcare 3 ore, pauză 1 oră ;
— încărcare 2 ore, pauză 1 oră ;
— încărcare 2 ore, pauză 1 oră ;
— încărcare 1 oră, pauză 1 oră ;
— încărcare 1 oră, pauză 1 oră,

și așa mai departe, pînă ce în baterie se înmagazinează o cantitate de electricitate egală cu (8—10) C_{10}, în care C_{10} reprezintă capacitatea de descărcare a bateriei în regim de 10 ore (tabel 11.1). De exemplu, pentru o baterie LS-4, C_{10} = = 144 Ah, deci va trebui să primească 10 C_{10} = 1 440 Ah.

În situația în care din diverse motive nu se poate realiza programul de mai sus, formarea bateriei se poate realiza și printr-o încărcare cu o continuitate minimă de 12 ore, apoi pauză 12 ore, urmată de o nouă încărcare de 12 ore, apoi pauză de 12 ore și așa mai departe, pînă cînd cantitatea de electricitate înmagazinată va ajunge la 8—10 C_{10}.

Curentul de încărcare va trebui să fie cuprins în limitele de mai sus.

Oricare ar fi sistemul aplicat la formarea sau încărcarea bateriei, operația se întrerupe dacă temperatura electrolitului crește peste 40°C. Ea se reia numai după ce temperatura a scăzut sub 30°C.

11.3. **Verificarea bateriilor de acumulatoare**

În tabelul 11.2 sînt prezentate principalele probe și verificări la care sînt supuse bateriile de acumulatoare, precum și momentul efectuării lor.

În tabelul 11.2 :

* — proba se execută la 3 RT, dar nu mai rar de 3 ani ;

** — proba se execută înainte de umplerea vaselor, dacă nu există buletin de fabrică.

Tabelul 11.2

Număr curent probă	Denumirea probei	Momentul efectuării probei								
		F	PIF	RT	RC_1	RK	M	Î–D	D	Periodicitate
11.3.1	Măsurarea rezistenței de izolație a bateriei	X	X	X	X	X	X	–	–	–
11.3.2	Încercarea izolației barelor cu tensiune alternativă mărită	–	X	–	–	–	X	–	–	–
11.3.3	Verificarea capacității bateriei	X	–	–	X	X	–	X	–	–
11.3.4	Verificarea densității, temperaturii și purității electrolitului	X	X	–	–	–	–	X	–	O dată pe lună
11.3.5	Măsurarea tensiunii pe element	X	X	X	X	X	–	–	X	O dată pe lună
11.3.6	Măsurarea nivelului electrolitului și controlul depunerilor	X	X	–	–	–	–	–	–	– Stații fără personal, o dată pe lună ; – Stații cu personal, zilnic
11.3.7	Analiza chimică a electrolitului**	–	–	X*	–	–	–	–	–	–

În același tabel, pentru denumirea probelor au fost atribuite următoarele notații :

F — formarea bateriei ; RC_1 — reparație curentă 1 ; M — modificări în instalație ; I-D — ciclu de încărcare-descărcare ; D — descărcare.

Semnificația celorlalte notații este indicată la § 1.3 și § 2.3.

11.3.1. *Măsurarea rezistenței de izolație*

Pentru efectuarea probei se utilizează un megohmmetru de 500 V. Bateria trebuie să fie complet montată (inclusiv instalația de protecție antiseismică) și încărcată.

Înaintea începerii măsurărilor, bateria se izolează de restul instalației, prin deconectarea ei din panourile de servicii interne de curent continuu.

Rezistența de izolație a polilor față de pămînt nu trebuie să scadă în aceste condiții, sub valorile din tabelul 11.3.

Tabelul 11.3

Tensiunea bateriei	Rezistența minimă de izolație
$U_N \leqslant 110$ V	0,5 MΩ
$U_N > 110$ V	1,0 MΩ

În cazul cînd se obțin valori mai mici decît cele din tabel, se va proceda la curățirea pereților exteriori ai vaselor și la curățirea izolatoarelor suport.

11.3.2. *Încercarea izolației barelor de curent continuu cu tensiune mărită*

Proba se execută timp de 1 minut, pentru bateriile cu tensiunea mai mare de 60 V, folosind o trusă de tensiune mărită de curent alternativ de 2 kV sau un megohmmetru de 2,5 kV.

În timpul probei nu trebuie să apară străpungeri sau efluvii.

11.3.3. *Verificarea capacității bateriei*

Pentru efectuarea probei se utilizează montajul din fig. 11.1, în care R este o rezistență variabilă, practic neinductivă, ce poate fi reglată astfel încît să se asigure în circuitul ei un curent constant de descărcare, $I_{desc} = 0{,}1\ C_{10}$ [A] (vezi tabelul 11.1, coloana 8).

Proba se execută la o temperatură cuprinsă între 15 și 25°C.

La temperatura de 25°C, un acumulator complet încărcat trebuie să aibă tensiunea de 2 V și densitatea de 1,20 $\pm$ $\pm$ 0,01 g/cm^3, pe fiecare element în parte.

În timpul descărcării se controlează la intervale convenabile, tensiunea și densitatea electrolitului, precum și curentul de descărcare.

În momentul cînd tensiunea a ajuns la 1,85 V pe element, măsurările se efectuează la intervale de 10—15 minute, descărcarea fiind întreruptă cînd tensiunea a ajuns la 1,8 V pe element.

Capacitatea bateriei se stabilește cu formula :

$$C = I_{desc} \times t \quad [\text{Ah}],$$

în care I_{desc} este curentul de descărcare [A] ; t — timpul în care s-a efectuat descărcarea [h].

Valoarea obținută se compară cu cea din tabelul 11.1, coloana 3. Conform [80], după cel mult 10 cicluri încărcare-descărcare, capacitatea bateriei trebuie să atingă 0,95 C_{10}.

Dacă temperatura la care se efectuează determinarea capacității este diferită de 25°C, pentru a putea compara

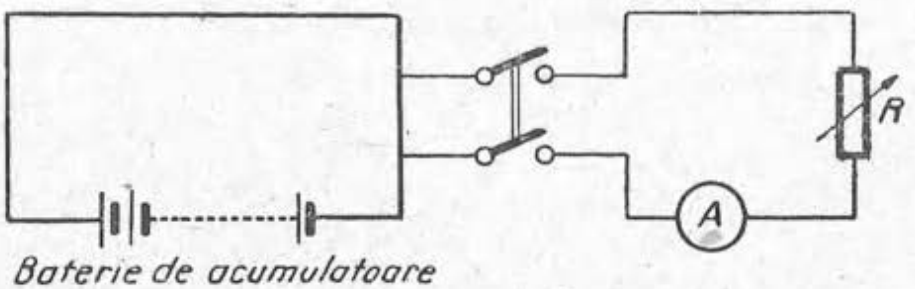


Fig. 11.1.

valoarea obținută, cu cea din tabelul 11.1, se utilizează formula :

$$C_{25^\circ} = \frac{C_{t^\circ}}{1 + 0{,}008\,(t - 25^\circ)},$$

în care t° este temperatura medie a electrolitului ; C_{t° — capacitatea [Ah], măsurată la temperatura t° ; C_{25° — capacitatea [Ah], măsurată la 25°C (tabelul 11.1, col. 3).

La sfîrșitul descărcării, tensiunile nu trebuie să difere de la un element la altul cu mai mult de $\pm$ 1,5% față de valoarea prescrisă (1,8 V), iar densitatea nu trebuie să scadă sub 1,12 $\div$ 1,13 g/cm³.

Descărcarea bateriei trebuie oprită dacă densitatea atinge aceste valori (1,12—1,13 g/cm³), chiar și în situația în care tensiunea pe element nu a scăzut sub 1,8 V.

11.3.4. *Măsurarea densității, temperaturii și purității electrolitului*

11.3.4.1. **Măsurarea densității.** La un acumulator complet încărcat, densitatea măsurată la 30 de minute de la sfîrșitul acestei operații și la o temperatură a electrolitului de 25°C trebuie să fie de 1,20 $\pm$ 0,01 g/cm³.

Dacă citirea se face la o altă temperatură t°, raportarea acestei densități la temperatura de 25°, se face cu ajutorul relației :

$$d_{25^\circ} = d_t + 0{,}0007(t - 25^\circ),$$

în care t este temperatura electrolitului la temperatura t°C ; d_t — densitatea electrolitului la temperatura t°C.

Densimetrul utilizat trebuie să aibă o scară gradată la care valoarea unei diviziuni și precizia de etalonare să fie de cel puțin 0,005 unități de densitate.

11.3.4.2. **Măsurarea temperaturii.** Pentru măsurarea temperaturii electrolitului, se vor utiliza termometre avînd valoarea unei diviziuni a scării gradate egală cu minimum 1°C, iar precizia de etalonare, de minimum 0,5°C.

11.3.4.3. **Verificarea purității electrolitului.** Proba se execută conform indicațiilor producătorului.

11.3.5. *Măsurarea tensiunii pe fiecare element*

Măsurările se efectuează cu un voltmetru de curent continuu de clasă de precizie 0,5 şi cu rezistenţa interioară de cel puţin 300 Ω/V. La un acumulator cu plumb încărcat, tensiunea trebuie să fie de 2 V pe element.

11.3.6. *Măsurarea nivelului electrolitului şi controlul depunerilor*

Măsurarea nivelului electrolitului se va efectua cu ajutorul unui bastonaş din sticlă sau din alt material ce nu este atacat de electrolit.

Nivelul acestuia trebuie să fie cu 15—20 mm deasupra marginii superioare a separatoarelor dintre plăci.

Controlul depunerilor se efectuează prin determinări vizuale, netrebuind să se constate depuneri excesive de la o determinare la alta.

11.3.7. *Analiza chimică a electrolitului*

Proba se execută conform indicaţiilor din STAS 164/75.

12. Verificarea şi întreţinerea redresoarelor utilizate la alimentarea serviciilor proprii de curent continuu din staţii electrice şi posturi de transformare

Pentru efectuarea probelor de verificare şi pentru executarea operaţiilor de întreţinere a redresoarelor, se vor respecta intrucţiunile fabricii constructoare.

În lipsa acestora, la efectuarea verificărilor se vor executa următoarele încercări :

Măsurarea rezistenţei de izolaţie a bornelor de tensiune continuă. Proba se efectuează cu ajutorul unui megohmmetru de 500 V, conectat pe rînd, între fiecare bornă (+ şi apoi —) şi carcasa metalică conectată la pămînt. Valoarea obţinută trebuie să fie mai mare de 10—15 MΩ.

Verificarea succesiunii corecte (R, S, T) a celor trei faze ale tensiunii de alimentare. Proba se efectuează la PIF, numai la redresoarele cu alimentare trifazată, folosind un indicator de succesiune a fazelor.

Verificarea polarităţii tensiunii continue furnizate de redresor. Proba se execută cu ajutorul unui voltmetru de curent continuu, conectat cu bornele (+) şi (—) la bornele omoloage ale redresorului aflat în stare de funcţionare. Deviaţia spre dreapta a acului voltmetrului indică o polaritate corectă a bornelor redresorului.

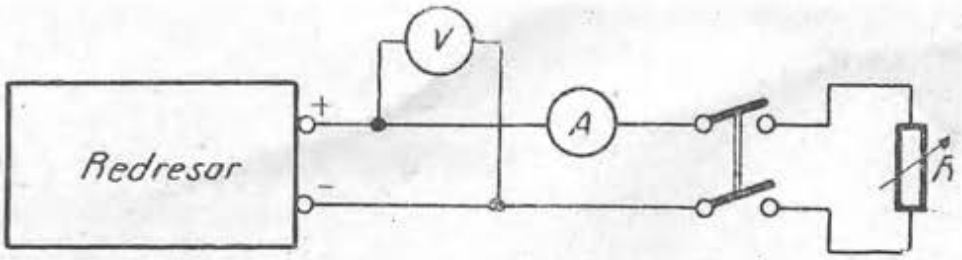


Fig. 12.1.

Verificarea modului de funcționare a redresorului în sarcină. Proba se efectuează folosind montajul din fig. 12.1, în care R este o rezistență variabilă neinductivă.

Se acționează comutatorul de reglaj al redresorului, urmărindu-se la ampermetrul A și la voltmetrul V, ca variația curentului și tensiunii debitate să fie cuprinse în limitele prescrise în prospect.

Deoarece redresoarele montate în stații sau posturi de transformatoare trebuie să fie capabile să asigure de regulă și formarea sau încărcarea bateriei de acumulatoare, se recomandă ca ele să fie lăsate să debiteze pe rezistența R (la curentul nominal) un anumit interval de timp (cîteva ore), pentru a avea certitudinea funcționării corecte și în aceste regimuri.

Verificarea funcționării semnalizărilor date de redresor. Această probă se efectuează numai la redresoarele prevăzute cu sisteme de semnalizări. Se vor simula, pe rînd, situațiile care pot genera emiterea semnalelor respective, urmărindu-se semnalizarea corectă a diverselor deranjamente.

13. Verificarea aparatelor de conectare şi protecţie de curent continuu şi alternativ utilizate în instalaţiile de joasă tensiune ale staţiilor electrice şi posturilor de transformare

Din această categorie de aparate fac parte contactoarele, contactoarele cu relee termice, ruptoarele, întreruptoarele automate etc.

În tabelul 13.1 sînt prezentate principalele probe şi verificări la care sînt supuse aceste aparate.

Tabelul 13.1

Număr curent probă	Denumirea probei	Momentul efectuării probei				
		PIF	RC_a	RT	RK	FI
13.1	Măsurarea rezistenţei de izolaţie	X	X	—	X	—
13.2	Încercarea izolaţiei cu tensiune alternativă mărită	X	X	—	X	—
13.3	Măsurarea tensiunii minime de acţionare	X	X	—	X	—
13.4	Verificarea funcţionării elementelor termice şi electromagnetice	X	X	X	X	X

În tabelul 13.1, FI are semnificaţia de „funcţionare incorectă", celelalte notaţii fiind conforme cu indicaţiile de la § 1.3. şi § 2.3.

13.1. Măsurarea rezistenței de izolație

13.1.1. *Măsurarea rezistenței de izolație a căilor conductoare de electricitate*

Proba se execută cu ajutorul unui megohmmetru, tensiunea de încercare fiind aplicată timp de 1 minut între:

— bornele de intrare și cele de ieșire ale aceluiași pol, aparatul fiind deconectat;

— între poli, aparatul fiind conectat;

— între părțile sub tensiune și masă.

În lipsa valorilor indicate în norma internă a produsului, rezistența de izolație minimă măsurată nu trebuie să fie sub valorile indicate în tabelul 13.2.

Tabelul 13.2

U_N aparat [V] c.c. ; c.a.	Tensiunea nominală a megohmmetrului [V]	Rezistența minimă de izolație [MΩ] în funcție de starea aparatului	
		Uscată	Caldă, umedă
<110	500	2	0,25
$110 \leqslant U_N < 300$	500	6	0,30
$300 < U_N < 500$	1 000	6	0,30
$500 \leqslant U_N < 1\,000$	1 000	10	1,00
$1\,000 \leqslant U_N \leqslant 1\,200$	2 500	10	1,00

Prin stare caldă, în sensul celor indicate în tabelul 13.2, se înțelege că aparatul a fost în prealabil sub tensiune un timp suficient de mare și a ajuns astfel la temperatura stabilizată de regim.

Prin stare umedă se înțelege că aparatul se găsește într-un mediu cu umiditate relativă maximă de $95 \pm 3\%$, iar prin stare uscată, că se găsește într-un mediu cu umiditatea relativă maximă de $65 \pm 2\%$.

13.1.2. *Măsurarea rezistenței de izolație a bobinelor de acționare*

Proba se execută cu ajutorul unui megohmmetru de $500 \div 1\,000$ V. În lipsa unor valori de referință furnizate de fabrica constructoare, se poate considera ca satisfăcătoare o rezistență minimă de izolație de 2 MΩ.

13.2. Încercarea izolației cu tensiune alternativă mărită

Pentru efectuarea probei, se utilizează o trusă pentru încercarea izolației cu tensiune alternativă mărită, la 50 Hz. Tensiunea de încercare se aplică într-un mod asemănător celui prezentat la § 13.1.1.

În timpul încercării, care durează 1 minut, nu trebuie să apară străpungeri prin piesele izolante sau prin aer și nici conturnări, efluvii, încălziri sau zgomote suspecte.

După încercarea cu tensiune mărită, se repetă operația de măsurare a rezistenței de izolație.

În funcție de tensiunea nominală a aparatului verificat, tensiunea de încercare, va avea valorile din tabelul 13.3.

Tabelul 13.3

Un aparat [V] c.c. ; c.a.	Tensiunea de încercare 50 Hz ; 1 min [V]
<100	1 000
$100 < U_N < 300$	2 000
$300 < U_N \leqslant 660$	2 500
800 (750) V	3 000
$1\,000 \leqslant U_N \leqslant 1\,200$	3 500

13.3. Măsurarea tensiunii minime de acționare

La efectuarea probei, se folosește montajul din fig. 13.1.

Pentru determinarea tensiunii minime de închidere, tensiunea aplicată bobinei va fi crescută de la zero, către valoarea nominală.

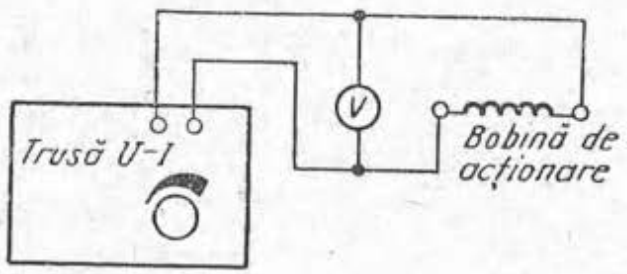


Fig. 13.1.

Valoarea citită la voltmetru în momentul anclanșării aparatului reprezintă tensiunea minimă de acționare. Contactele principale ca și cele auxiliare ale acestuia trebuie să fie perfect închise, iar părțile mobile să nu vibreze.

La determinarea tensiunii minime de deschidere, se procedează la scăderea tensiunii, de la valoarea nominală către zero. Valoarea citită la voltmetru în momentul cînd are loc declanșarea aparatului reprezintă tensiunea minimă de deschidere.

La închidere, tensiunea minimă nu trebuie să depășească 0,85 U_N, iar la deschidere, nu trebuie să depășească 0,70 U_N.

13.4. Verificarea funcționării elementelor termice și electromagnetice ale contactoarelor și întreruptoarelor automate

13.4.1. *Generalități*

Pentru a asigura protecția circuitelor alimentate, contactoarele și întreruptoarele automate sînt prevăzute cu diverse protecții.

La contactoarele tip TCA protecția împotriva scurtcircuitelor se realizează de regulă cu siguranțe fuzibile, iar protecția împotriva suprasarcinilor, cu blocuri de relee termice tip TSA.

La întreruptoarele automate tip USOL, protecția împotriva scurtcircuitelor se realizează cu elemente electromagnetice, iar protecția împotriva suprasarcinilor, cu relee termice. Atît elementele electromagnetice, cît și releele termice sînt înglobate în construcția întreruptorului.

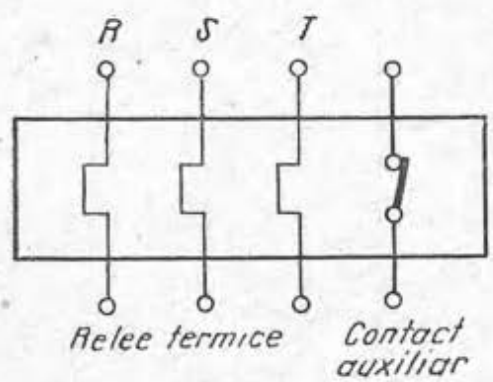


Fig. 13.2.

13.4.1.1. **Blocuri de relee termice tip TSA de 10 ; 32 și 63 A.** Blocurile de relee termice tip TSA (fig. 13.2), sînt dispozitive tripolare.

Tabelul 13.4

Caracteristici tehnice		TSA – 10		TSA – 32		TSA – 63	
		c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.
Tensiunea nominală [V]		500	—	500	—	500	—
Frecvența nominală [Hz]		50	—	50	—	50	—
Contacte auxiliare	Tensiune nominală [V]	500	250	500	250	500	250
	Curent nominal [A]	2	0,15	2	0,15	2	0,15
Curenți de serviciu I_t [A]		0,40 ; 0,55 ; 0,75 ; 1,0 ; 1,30 ; 1,80 ; 2,40 ; 3,30 ; 4,50 ; 6,00 ; 8,00 ; 11,00	—	0,40 ; 0,55 ; 0,75 ; 1 ; 1,3 ; 1,8 ; 2,4 ; 3,3 ; 4,5 ; 6 ; 8 ; 10 ; 15 ; 20 ; 25 ; 32	—	40 ; 63	—

Principalele caracteristici tehnice precum și valorile curenților de serviciu I_t, pentru care se construiesc aceste relee termice sînt indicate în tabelul 13.4.

Curenții de serviciu I_t pot fi reglați, cu ajutorul unui buton aflat pe releul termic, între 0,67 și 1 $\times$ I_t.

Varianta TSA-63 este prevăzută cu compensator de temperatură.

Diagramele de acționare ale blocurilor de relee tip TSA, în funcție de multiplul curentului de serviciu reglat I_t, sînt reprezentate în fig. 13.3.

Curbele *1* corespund stării reci a releelor termice, cînd acestea au temperatura de 20 $\pm$ 5°C și egală cu a mediului ambiant.

Curbele *2* corespund stării calde a releelor termice, cînd acestea au o temperatură egală cu temperatura de regim corespunzătoare curentului reglat, temperatura mediului fiind de 20 $\pm$ 5°C.

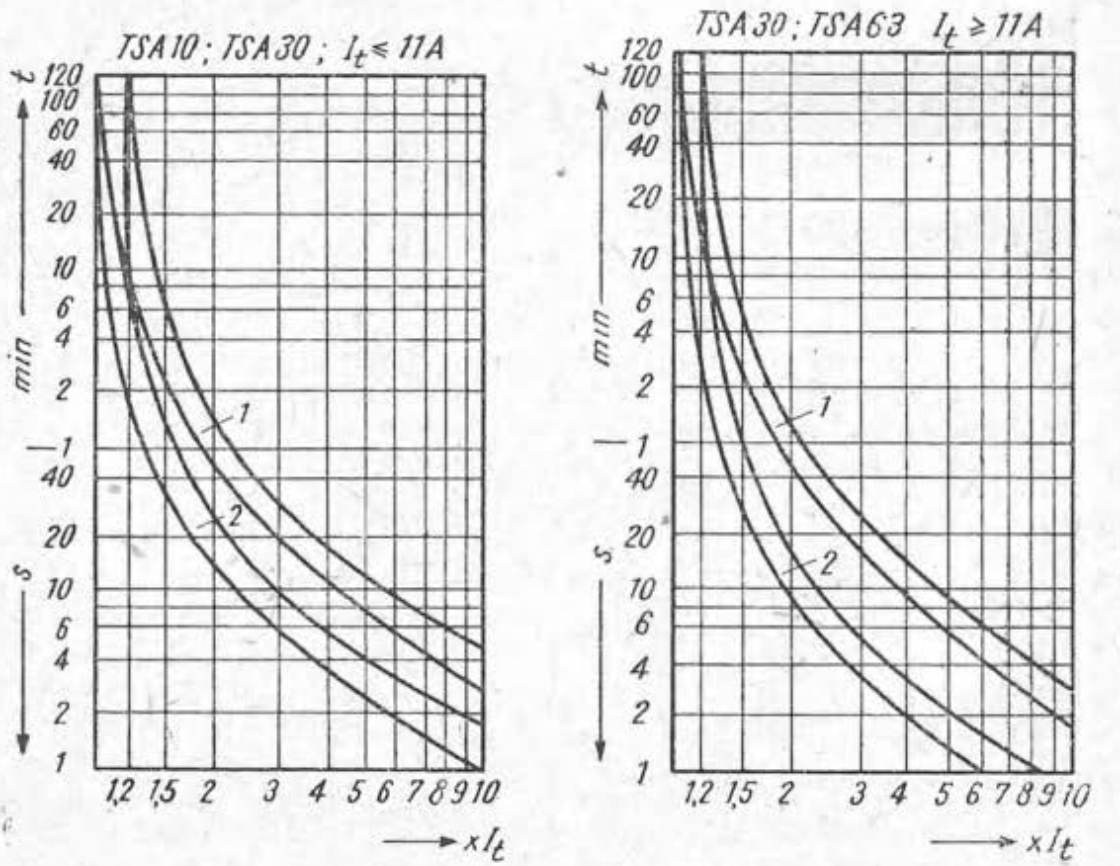


Fig. 13.3.

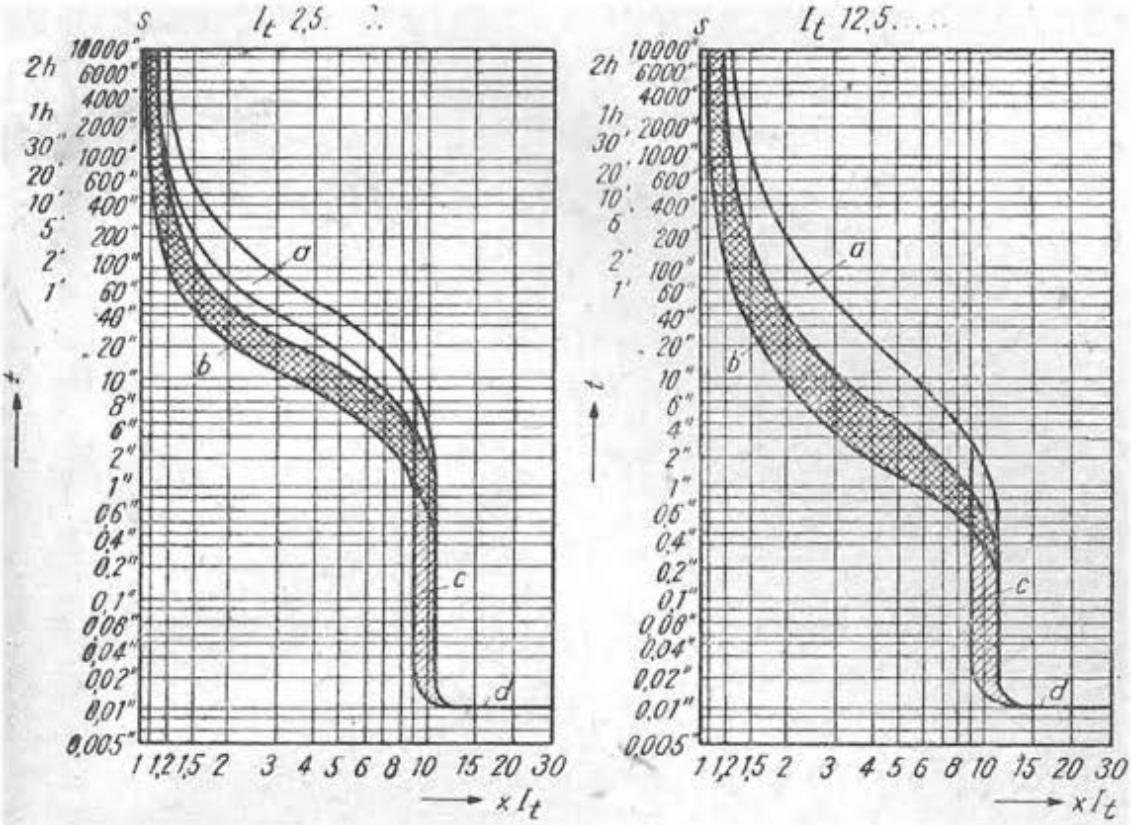


Fig. 13.4.

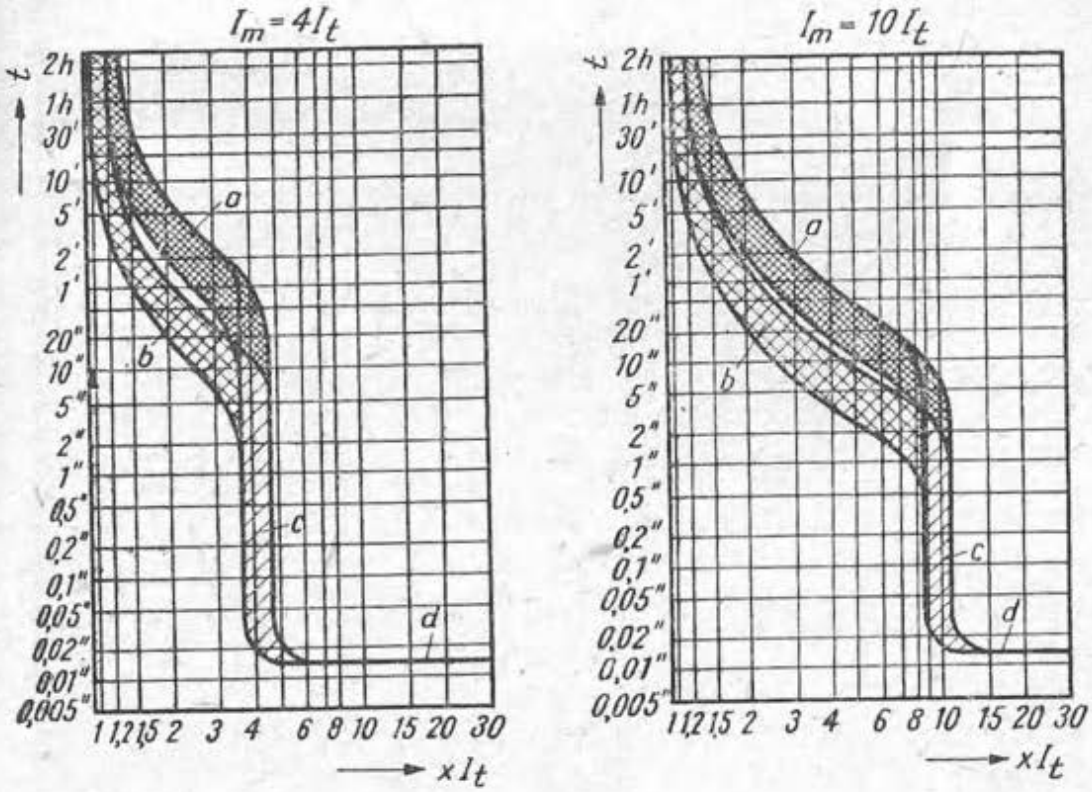


Fig. 13.5.

13.4.1.2. **Întreruptoare automate tip USOL.** Aceste întreruptoare asigură protecția motoarelor, liniilor, precum și a instalațiilor complexe de automatizare.

Acționarea lor poate fi : manuală, prin motor electric sau cu electromagnet de acționare.

În fig. 13.4, sînt reprezentate diagramele de funcționare ale întreruptoarelor tip USOL-100, iar în fig. 13.5, cele ale întreruptoarelor USOL-250.

În diagramele din fig. 13.4 și fig. 13.5, I_t reprezintă curentul de serviciu al releelor termice, iar I_m reprezintă curentul de reglaj al releelor electromagnetice. Curbele *a* corespund declanșării prin relee termice, pornind din stare rece ; curbele *b* corespund declanșării prin relee termice, pornind din stare caldă ; curbele *c* corespund declanșării electromagnetice la un curent minim $I_m = mI_t$, unde m este un factor de multiplicare al lui I_t ; curbele *d* corespund declanșării la scurtcircuit la un curent mai mare ca I_m.

În tabelul 13.5 sînt indicați curenții de serviciu I_t ai releelor termice și limitele de reglaj ale releelor electromagnetice (curentul I_m), pentru întreruptoarele automate tip USOL.

Caracteristici tehnice	USOL 100		USOL-250	
	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.
Curentul de serviciu I_t(A)	2,5 ; 3,2 ; 4 ; 5 ; 6,3 ; 8 ; 10 ; 12,5 ; 16 ; 20 ; 25 ; 32 ; 40 ; 50 ; 63 ; 80 ; 100 ;	Idem c.a.	60 ; 100 ; 160 ; 200 ; 250	idem c.a.
Curentul I_m(A)	10 I_t	10 I_t	10 I_t ; 4 I_t	4 I_t

13.4.2. *Verificarea funcționării elementelor termice și electromagnetice*

13.4.2.1. **Verificarea funcționării elementelor termice.** Pentru verificarea funcționării elementelor termice ale dispozitivelor tip TSA, se utilizează montajul din fig. 13.6,

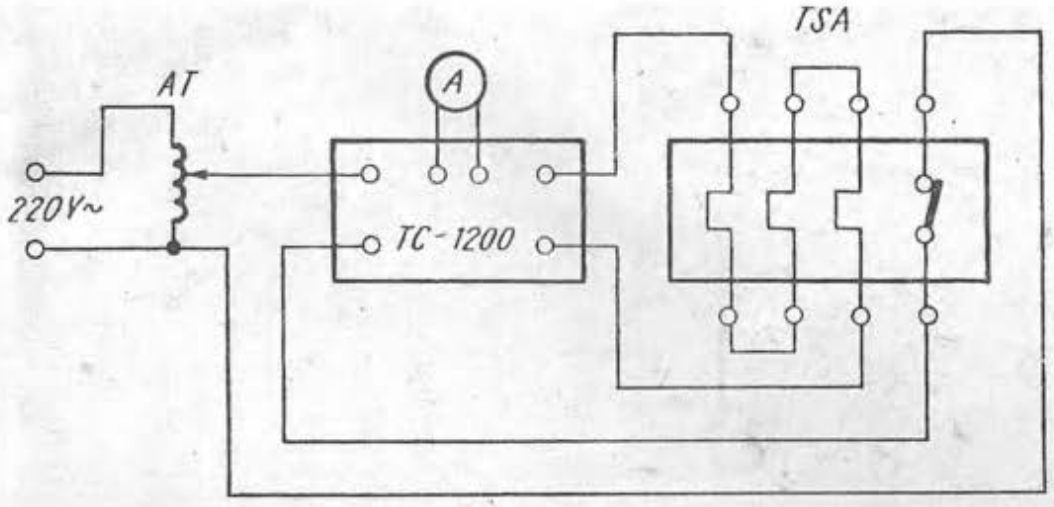


Fig. 13.6.

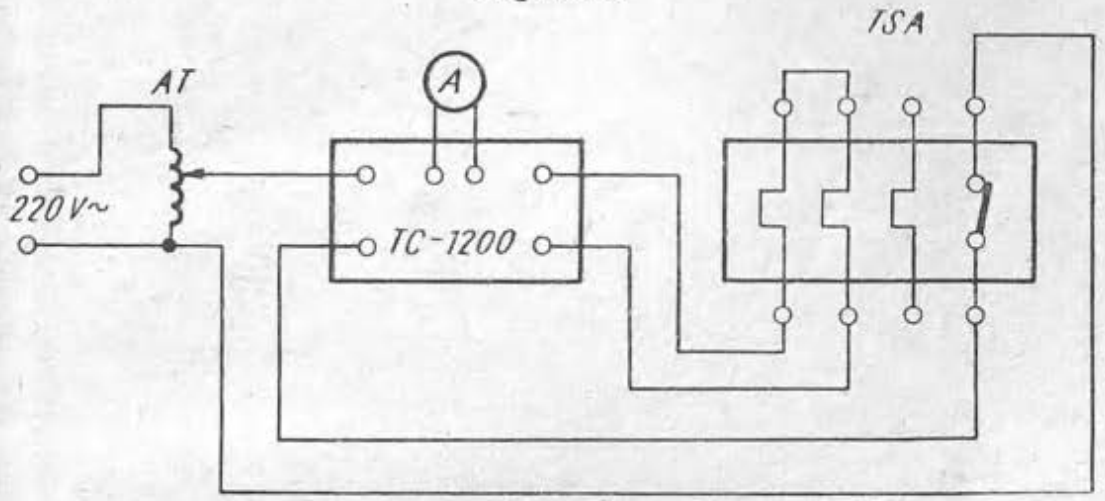


Fig. 13.7.

Tabelul 13.5

USOL-630		USOL-800	
c.a.	c.c.	c.a.	c.c.
100 ; 125 ; 160 ; 200 ; 250 ; 320 ; 400 ; 500 ; 580 ; 630 ;	idem c.a.	400 ; 500 ; 580 ; 700 ; 800	idem c.a.
reglabil (2...4) I_t reglabil (5...10) I_t	reglabil (2...4) I_t	reglabil (2...4) I_t reglabil (5...10) I_t	reglabil (2...4) I_t

în cazul unei alimentări pe toate cele 3 faze și cel din fig. 13.7, în cazul unei alimentări numai pe două faze.

În figurile de mai sus, *AT* este un autotransformator reglabil de 220 V/8 A, iar *TC*, o trusă de curent de 1 200 A.

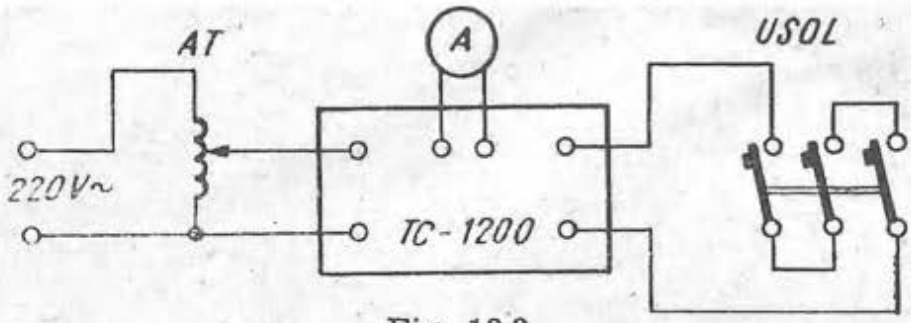


Fig. 13.8.

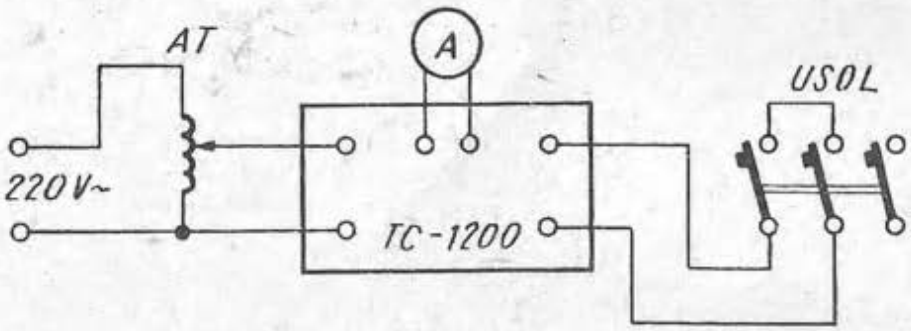


Fig. 13.9.

Dacă se verifică blocurile de relee termice ale întreruptoarelor automate tip USOL, montajele folosite sînt asemănătoare.

Trusa de curent, ca şi punţile de legătură, se conectează direct la contactele principale ale întreruptorului (fig. 13.8 şi 13.9).

În acest caz, proba poate începe numai după ce întreruptorul a fost cuplat. Întreruperea curentului din circuitul principal se realizează în mod automat prin declanşarea întreruptorului.

Valorile curenţilor de încercare sînt indicate în tabelul 13.6, atît pentru blocurile de relee termice tip TSA, cît şi pentru întreruptoarele automate USOL.

În acest tabel declanşatorul termic necompensat este declanşatorul necompensat faţă de temperatura mediului ambiant. Declanşatorul termic compensat este declanşatorul compensat faţă de temperatura mediului ambiant.

Indiferent de tipul întreruptorului sau declanşatorului termic, în cazul verificării funcţionării pe 3 poli (fig. 13.6 şi fig. 13.8), proba decurge astfel :

— Se aplică mai întîi un curent I_1. Declanşarea nu trebuie să aibă loc într-un timp mai mic sau egal cu T_1 (tabel 13.6, coloanele 5 şi 6).

Tabelul 13.6

Tipul aparatului		Declanşator termic	I_t [A]	Curent I_1		Curent I_2		Temperatura mediului [°C]
				I_1 [A]	Timp minim T_1 de nedeclanşare [ore]	I_2 [A]	Timp maxim de declanşare T_2 [ore]	
Întreruptoare automate sau relee termice pentru uz general	Alimentat pe trei poli	Necompensat	⩽63	$1{,}05 \times I_t$	1	$1{,}35 \times I_t$	<1	+20 ; +40
			>63	$1{,}05 \times I_t$	2	$1{,}25 \times I_t$	<2	
		Compensat	⩽63	$1{,}05 \times I_t$	1	$1{,}30 \times I_t$	<1	+20
				$1{,}05 \times I_t$	1	$1{,}40 \times I_t$	<1	− 5
				$1{,}00 \times I_t$	1	$1{,}30 \times I_t$	<1	+40
			>63	$1{,}05 \times I_t$	2	$1{,}25 \times I_t$	<2	+20
				$1{,}05 \times I_t$	2	$1{,}35 \times I_t$	<2	− 5
				$1{,}00 \times I_t$	2	$1{,}25 \times I_t$	<2	+40
	Alimentat pe doi poli	Necompensat	⩽63	$1{,}05 \times I_t$	1	$1{,}485 \times I_t$	<1	+20 ; +40
			>63	$1{,}05 \times I_t$	2	$1{,}375 \times I_t$	<2	
		Compensat	⩽63	$1{,}05 \times I_t$	1	$1{,}43 \times I_t$	<1	+20
				$1{,}05 \times I_t$	1	$1{,}54 \times I_t$	<1	− 5
				$1{,}00 \times I_t$	1	$1{,}43 \times I_t$	<1	+40
			>63	$1{,}05 \times I_t$	2	$1{,}375 \times I_t$	<2	+20
				$1{,}05 \times I_t$	2	$1{,}485 \times I_t$	<2	− 5
				$1{,}00 \times I_t$	2	$1{,}375 \times I_t$	<2	+40
Întreruptoare automate sau relee termice folosite la pornirea sau protecţia motoarelor	Alimentat pe trei poli	Necompensat	—	$1{,}05 \times I_t$	2	$1{,}20 \times I_t$	<2	+20 ; +40
		Compensat	—	$1{,}05 \times I_t$	2	$1{,}20 \times I_t$	<2	+20
			—	$1{,}05 \times I_t$	2	$1{,}30 \times I_t$	<2	− 5
			—	$1{,}00 \times I_t$	2	$1{,}20 \times I_t$	<2	+40
	Alimentat pe doi poli	Necompensat	—	$1{,}05 \times I_t$	2	$1{,}32 \times I_t$	<2	+20 ; +40
		Compensat	—	$1{,}05 \times I_t$	2	$1{,}32 \times I_t$	<2	+20

— După scurgerea timpului T_1, se crește apoi brusc curentul la valoarea I_2. Declanșarea va trebui să aibă loc într-un timp maxim T_2, măsurat din momentul cînd s-a aplicat curentul I_2 (tabel 13.6, coloanele 7 și 8).

În cazul verificării funcționării pe 2 poli, proba decurge astfel :

— Se aplică mai întîi un curent I_1 pe toți cei trei poli (fig. 13.6 și fig. 13.8). Declanșarea nu trebuie să aibă loc într-un timp mai mic sau egal cu T_1 (tabel 13.6, coloanele 5 și 6).

— După scurgerea timpului T_1, se aplică apoi brusc un curent I_2, pe doi din poli (fig. 13.7 și fig. 13.9). Declanșarea va trebui să aibă loc într-un timp maxim T_2, măsurat din momentul cînd s-a aplicat curentul I_2 (tabel 13.6, coloanele 7 și 8).

În afara celor prezentate, întreruptoarele automate sau blocurile de relee termice utilizate la pornirea și protecția motoarelor trebuie să îndeplinească și condițiile prevăzute în tabelul 13.7.

Tabelul 13.7

Multiplul curentului de reglaj	Timp de nedeclanșare [s]	Tipul motorului	Temperatura
$6 \times I_t$	>2	Motor cu pornire ușoară	20°
	>5	Motor cu pornire grea	

Față de temperaturile indicate în tabelul 13.6 și tabelul 13.7, se admit diferențe de ± 2°C.

13.4.2.2. **Verificarea funcționării elementelor electromagnetice.** Verificarea funcționării elementelor electromagnetice ale întreruptoarelor USOL sau similare se execută pe fiecare fază în parte, folosind montajul din fig. 13.10.

Înaintea începerii probei, se șuntează cordoanele A și B pentru a fixa valoarea I_m a curentului de încercare (tabelul 13.5).

Se închide întreruptorul și apoi se cuplează curentul în circuit. Declanșarea trebuie să aibă loc practic instantaneu.

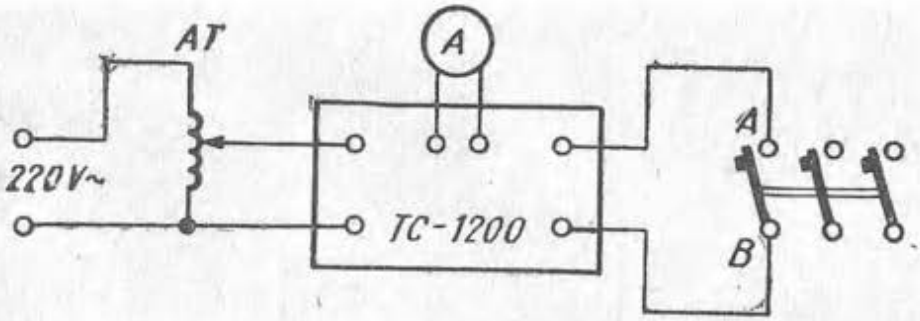


Fig. 13.10.

Declanşatorul electromagnetic trebuie să funcţioneze pentru toate valorile curentului de reglaj la scurtcircuit, cu următoarele abateri maxime :

$\pm 20\%$ I_m, pentru declanşatoarele nereglabile sau reglabile discontinuu ;

$\pm 10\%$ I_m, pentru declanşatoarele reglabile continuu.

13.5. Măsurarea rezistenţei de contact

Proba se execută în acelaşi mod ca la § 1.3.4. Valorile determinate nu trebuie să depăşească cu 50% pe cele de referinţă.

14. Măsuri de protecţia muncii la probele şi încercările care se execută asupra aparatelor primare de înaltă tensiune

În cuprinsul acestui capitol vor fi analizate pe scurt, cîteva din principalele măsuri de protecţia muncii, care *se impun* a fi respectate la executarea unora din probele şi încercările efectuate asupra aparatajului primar din staţii şi posturi de transformare.

Aceste măsuri vin în completarea indicaţiilor date deja pe parcursul lucrării în cadrul fiecărui capitol în parte şi sînt în concordanţă cu normativul PE 119/76 „Norme de protecţia muncii pentru instalaţiile electrice", care este obligatoriu să fie studiat.

14.1. Măsuri de protecţia muncii la măsurarea rezistenţei de izolaţie

După cum se ştie, megohmmetrul este un aparat care poate debita o tensiune continuă cu valori cuprinse de regulă între 500 şi 5 000 V.

În timpul probei, se va avea grijă ca atît persoana care efectuează măsurarea, cît și alte persoane, să nu atingă obiectul a cărui izolație se verifică.

Pe cît posibil, se va evita lucrul la înălțime, deoarece șocul produs la o eventuală atingere a obiectului sub tensiune poate provoca dezechilibrarea și căderea persoanei în cauză.

Cordoanele folosite trebuie să fie în perfectă stare și să aibă o rezistență de izolație de valoare cel puțin egală cu cea a domeniului maxim de măsurare.

Bananele sau crocodilii folosiți vor trebui să fie cu izolație sporită, iar dacă în timpul încercării aceștia vor trebui ținuți cu mîna, se vor folosi în mod obligatoriu mănuși dielectrice de înaltă tensiune.

După efectuarea probei, obiectele încercate vor fi descărcate de sarcina capacitivă acumulată, prin punerea lor la pămînt. Această recomandare se referă în special la cabluri sau la alte obiecte cu capacitate mare.

14.2. Măsuri de protecția muncii la determinarea raportului de transformare și a grupei de conexiuni a transformatoarelor de putere

La efectuarea probelor se vor respecta toate măsurile de protecția muncii indicată la § 3.3.8.

În caz că nu se cere o precizie prea mare a măsurărilor, se preferă ca alimentarea transformatoarelor de putere cu $U_N \geqslant 110$ kV, să se facă pe partea de înaltă tensiune a acestora, pentru a evita inducerea unor tensiuni de valori mari.

14.3. Măsuri de protecția muncii la măsurarea rezistențelor ohmice

În situația în care se măsoară rezistențele ohmice ale unor înfășurări puternic inductive, se va evita atingerea părților neizolate ale acestora, întrucît pot apărea supratensiuni periculoase în momentul întreruperii circuitului.

14.4. Măsuri de protecția muncii la aplicarea unor curenți de lucru în primarul transformatoarelor de curent

În timpul probelor care presupun aplicarea unor curenți în primarul transformatoarelor de curent, este necesar ca toate secundarele în afara celui care se verifică să fie scurt-circuitate și să aibă o bornă legată la pămînt. Neprocedînd în acest mod, în secundarele lăsate nesuntate pot apărea supratensiuni periculoase, de ordinul kilovolților. Acestea pot provoca, pe lîngă deteriorarea transformatorului respectiv, accidente grave.

14.5. Măsuri de protecția muncii la aplicarea unor tensiuni în secundarul transformatoarelor de tensiune inductive

La aplicarea unor tensiuni alternative în secundarul transformatoarelor de tensiune inductive, se va avea în vedere că în primarul acestora, se induc tensiuni ce pot atinge sau depăși tensiunea nominală a transformatorului.

Pentru a evita eventualele accidente, trebuie ca în timpul probei să se folosească pentru alimentarea secundarului cordoane de lungime suficient de mare, astfel încît operatorul să se găsească la cel puțin 5÷6 m de transformator.

Zona din jurul transformatorului va fi totodată îngrădită cu bandă roșie (pe care se vor monta plăcuțe avertizoare), la o distanță suficient de mare, care să excludă accidentele.

Pe parte primară, vor fi deconectate legăturile care pot transmite tensiunile induse în înfășurarea de înaltă tensiune.

14.6. Măsuri de protecția muncii la verificarea dispozitivelor de acționare a întreruptoarelor și separatoarelor

Probele de verificare a electromagneților, a releelor de acționare și a circuitelor secundare ce aparțin dispozitivelor de acționare se vor executa numai după ce s-au luat toate

măsurile care să împiedice acționarea dispozitivului respectiv de la distanță sau de la fața locului.

Probele funcționale complexe se vor executa numai după ce a luat sfîrșit reglajul mecanic și după anunțarea tuturor celor care au lucrat la dispozitivul de acționare al întreruptorului respectiv.

14.7. Măsuri de protecția muncii la încercările cu tensiune mărită

Pe lîngă încercările propriu-zise cu tensiune mărită, apariția sau folosirea unor tensiuni ridicate poate fi datorată și unor probe cum ar fi : măsurarea tg δ ; măsurarea raportului de transformare a transformatoarelor de putere ; ridicarea caracteristicii de mers în gol a transformatoarelor de tensiune, etc.

În toate aceste cazuri este necesar ca alimentarea transformatoarelor ridicătoare, sau a montajului să se facă numai prin transformatoare de separație.

Transformatorul de separație trebuie să fie alimentat de la rețea, numai printr-un dispozitiv care să permită, în cazul deconectării, o separație vizibilă.

Încercările se efectuează numai de personal autorizat, în urma unei examinări prealabile și avînd cel puțin grupa a III-a, N.P.M.

În componența formației trebuie să intre cel puțin 2 electricieni, numărul maxim al acestora fiind la latitudinea emitentului autorizației de lucru sau cînd nu este nevoie de autorizație, a șefului de lucrare.

În instalațiile de înaltă tensiune, echipamentul care urmează a fi încercat cu tensiune mărită trebuie să fie separat de părțile rămase sub tensiune, prin cel puțin două separații de întrerupere (separator și întreruptor, sau separator și o porțiune de bară sau legătură demontată).

Conform PE-119/76 se admite încercarea unor echipamente cu $U_N \leqslant 35$ kV, numai cu un separator deschis, dacă se aplică pe contactele acestuia, teci sau plăci izolante.

Înaintea începerii probei, se va urmări ca transformatoarele de curent să aibă secundarele șuntate și puse la pămînt.

Conductorul de legătură dintre borna de înaltă tensiune a aparatului de încercare și echipamentul supus încercării trebuie bine fixat și îndepărtat de părțile puse la pămînt.

Distanțele minime dintre părțiie echipamentului care urmează a fi încercat și elementele aflate în funcțiune sub tensiunea de lucru trebuie să fie mai mari decît cele din tabelul 14.1.

Tabelul 14.1

Tensiunea nominală [kV]	Distanțe minime de izolație [cm]
10	15
15	20
20	25
35	50

În cazul cînd aceste distanțe nu pot fi realizate, se vor scoate de sub tensiune instalațiile respective.

Locul în care se execută încercările, instalația de încercare, obiectul încercat și conductoarele de legătură trebuie să fie îngrădite cu bandă roșie. Se vor monta de asemenea plăcuțe avertizoare.

În zonele în care efectuarea îngrădirii nu este posibilă vor fi postați pentru pază și avertizare, membri ai formației de lucru, avînd cel puțin grupa I—N.P.M.

Demontarea și montarea cordonului de înaltă tensiune în alt punct de încercare nu se va face decît după ce tensiunea a fost redusă la zero, instalația a fost deconectată în mod vizibil de la sursă și au fost descărcate eventualele sarcini capacitive înmagazinate în instalația verificată.

Bibliografie

1. S T A S 3686/1-74. **Întreruptoare cu tensiuni alternative peste 1 kV.** Condiții tehnice generale de calitate.
2. M. E. E. — **Fișă tehnologică privind revizia tehnică a întreruptorului IUP — 110 kV — 3 000 MVA, cu dispozitiv de acționare pneumatic sau cu mecanism MR-4,** București, ICEMENERG, 1976.
3. S T A S 3686/3-74. **Întreruptoare pentru tensiuni alternative peste 1 kV.** Metode de încercare a izolației.
4. I C E M E N E R G. **Documentație de însoțire pentru dispozitivul de măsurare a timpilor de acționare a întreruptoarelor** — MINUT.
5. M. E. E. **Normativ de încercări și măsurători la echipamente și instalații electrice, PE 116.** ICEMENERG, București, 1980.
6. M. E. E. **Modificarea și completarea prescripțiilor PE 116/78 și PE 129/73, referitor la încercarea unor uleiuri electroizolante și de acționare — CT. 10/1979.**
7. M. E. E. **Fișă tehnologică, revizia tehnică a întreruptorului IUP-35 kV, cu acționare pneumatică sau cu dispozitiv de acționare MR-4.** ICEMENERG, București, 1976.
8. G. U. A. M. E. C. **Instrucțiuni de montaj și exploatare pentru întreruptoare IUP-M-10-20-kV, I.1.1.1.01.R.70.**
9. M. E. E. **Fișă tehnologică ; revizia tehnică a întreruptoarelor IO —110 ; 220 ; 400 kV —1600 A,** $\frac{\text{3.2.-FT-57/75}}{\text{351}}$, ICEMENERG, București, 1977.
10. M. E. E. **Instrucțiune de revizie a dispozitivului de acționare oleopneumatic tip MOP-1 O.D.E.,** București, 1972.
11. M. E. E. **Fișa tehnologică, revizia dispozitivelor de acționare DPI, DSI, DRI, DEI și DMI ale întreruptoarelor de 6 —35 kV inclusiv.** O.D.E., București, 1971.
12. M. E. E. **Nomenclatorul de verificări, încercări și probe privind montajul, punerea în funcțiune și darea în exploatare a instalațiilor energetice.** ICEMENERG, București, 1977.
13. S T A S 35-58. **Țiței și produse petroliere lichide, semisolide și solide. Determinarea densității.**

14. STAS 117-66. **Produse petroliere lichide. Determinarea viscozității.**
15. STAS 5488-56. **Produse petroliere. Determinarea punctului de inflamabilitate cu aparatul Pensky-Martens.**
16. STAS 5489-56. **Produse petroliere. Determinarea punctului de inflamabilitate cu aparatul Marcusson cu creuzet deschis.**
17. STAS 39-56. **Produse petroliere lichide. Determinarea punctului de congelare.**
18. STAS 23-68. **Produse petroliere. Determinarea acidității organice.**
19. STAS 33-71. **Produse petroliere. Determinarea gravimetrică a impurității mecanice.**
20. STAS 268-73. **Uleiuri electroizolante. Determinarea rigidității dielectrice.**
21. STAS 6799-71. **Uleiuri electroizolante. Determinarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice.**
22. STAS 3035-65. **Transformatoare de putere. Metode de încercare.**
23. Máthé, B., ș.a. **Încercarea transformatoarelor. Încercarea izolației.** București, Editura tehnică, 1966.
24. Cîrstea, D., ș.a. **Încercarea transformatoarelor. Încercări funcționale.** București, Editura tehnică, 1967.
25. M. E. E. **Normativ pentru proiectarea instalațiilor de protecție prin relee și automatizare.** O.D.P.T., București, 1969.
26. Máthé, B., ș.a. **Aparate electrice de înaltă tensiune, montare, întreținere, exploatare,** București, Editura tehnică, 1973.
27. STAS 1703-67. **Transformatoare de putere în ulei. Condiții generale.**
28. STAS 8242-68. **Transformatoare de putere. Metode de încercare a releului de gaze.**
29. Nicolaide, A. **Mașini electrice. Transformatorul, teoria, construcția, încercările, proiectarea.** Brașov, Institutul Politehnic, 1967.
30. Jezierski, E., ș.a. **Transformatoare electrice. Construcție și proiectare.** Traducere din lb. polonă. București, Editura tehnică, 1966.
31. Ghiță, N., ș.a. **Mașini electrice și transformatoare.** București, Editura didactică și pedagogică, 1964
32 Hortopan, Gh. **Aparate electrice.** București, Editura didactică și pedagogică, 1980.
33. Herșcovici, B., ș.a. **Aparate electrice de înaltă tensiune, îndreptar.** București, Editura tehnică, 1978
34. Siemens. **Memoratorul inginerului electrician.** —traducere din lb. germană. București, Editura tehnică, 1971.
35. Máthé, B. ș.a. **Încercarea aparatelor electrice.** București, Editura tehnică, 1976
36. M. E. E. **Condiții tehnice pentru transformatoare de curent de la 110 la 400 kV. PE 859/74.**
37. STAS 4324-70. **Transformatoare de curent. Condiții generale.**
38. M. E. E. **Instrucțiuni privind măsurarea tg δ la transformatoarele de măsură de 110—400 kV din exploatare, 3.1E-166-77.** București, ICEMENERG 1976.
39. M. E. E. **Instrucțiuni de exploatare pentru puntea Schering de gabarit mic, tip MD-16.**

40. M. E. E. **Exploatarea și întreținerea punții de curent alternativ pentru măsurat tg δ, P 595,** traducere din lb. rusă.
41. S T A S 4323-70. **Transformatoare de tensiune. Condiții generale.**
42. K o p e c e k, J a n, ș.a. **Transformatoare de măsură,** traducere din lb. cehă. București, Editura tehnică, 1970.
43. N i ț u, V., ș.a. **Instalațiile electrice ale centralelor și stațiilor.** București, Editura tehnică, 1972.
44. D r ă g a n, S t. **Exploatarea și întreținerea transformatoarelor de măsură.** București, Editura tehnică, 1969.
45. M. E. E. **Fișă tehnologică, revizia transformatoarelor de tensiune** București, O.D.E., 1970.
46. G. U. A. M. E . C. **Instrucțiuni de montaj și exploatare, transformatoare de tensiune tip TECU 110 —220 —400 kV.**
47. G. U. A. M. E. C. **Instrucțiuni de montaj și exploatare pentru transformatoare de tensiune tip TIRMo, TIRBo 10 ; 20 ; 35 kV.**
48. G. U. A. M. E. C. **Instrucțiuni de montaj și exploatare, transformatoare de curent tip CESU** $_{K,\ h,\ I}$ **— 220 kV.**
49. G. U. A. M. E. C. **Instrucțiuni de montaj și exploatare, pentru transformatoare de curent tip CIRS 10 —15 —20 —25 —35 kV.**
50. G. U. A. M. E. C. **Instrucțiuni de montaj și exploatare pentru transformatoare de curent tip CESU —110 kV.**
51. M. E. E. **Fișă tehnologică, revizia transformatoarelor de curent.** București, O.D.E., 1970.
52. G. U. A. M. E. C. **Instrucțiuni de montaj și exploatare pentru dispozitive de acționare pneumatice, tip AP-2 ; 3 ; 4 ; 5.**
53. G. U. A. M. E .C. **Instrucțiuni de montaj și exploatare pentru dispozitive de acționare cu servomotor tip ASE.**
54. M. E. E. **Fișă tehnologică privind revizia transformatoarelor de putere de 1 —10 MVA și a bobinelor de stingere.** București, O.D.E., 1971.
55. M. E. E. **Fișă tehnologică, încercările periodice ale transformatoarelor de putere și bobinelor de stingere după reparații și în exploatare.** București, O.D.E., 1973.
56. S T A S 1893-72. **Mașini electrice rotative. Condiții generale.**
57. S T A S 8211-77. **Mașini electrice sincrone trifazate. Metode de încercare.**
58. S T A S 7246-74. **Motoare asincrone trifazate de la 0,5 kW la 10 000 kW. Metode de încercare.**
59. J e r v e, G. **Încercarea mașinilor electrice rotative,** ediția a II-a, traducere din lb. rusă. București, Editura tehnică, 1972.
60. M. E. E. **Motoare asincrone, IP-17 A.** București, O.D.E., 1972.
61. M. E. E. **Fișă tehnologică, revizia motoarelor electrice și a convertizoarelor.** București, ICEMENERG, 1978.
62. M. E. E. **Fișă tehnologică, FT-E-1, verificări P.R.A.M. ale motoarelor electrice și compensatoarelor sincrone, după reparații și în exploatare.** București, O.D.E., 1967.

63. S T A S 4481-72. **Cabluri de energie cu izolație de hîrtie impregnată în manta de plumb pentru tensiunea nominală pînă la 20 kV între conductoare.**
64. S T A S 8778-70. **Cabluri de energie cu izolație și manta de PVC pentru tensiunea nominală pînă la 10 kV între conductoare.**
65. S T A S 9436/2-73. **Cabluri de energie de joasă și medie tensiune. Clasificare și simbolizare.**
66. S T A S 9436/5-73. **Cabluri de semnalizare, comandă și control. Clasificare și simbolizare.**
67. C r u c e r u, C. ș.a. **Încercările cablurilor de energie în exploatare.** București, Editura tehnică, 1974.
68. M. E. E. **Norme de protecție a muncii pentru instalații electrice PE 119/76.** București, ICEMENERG, 1976.
69. G o i a, L. ș.a. **Coroziunea și protecția anticorosivă a conductelor electrice.** București, Editura tehnică, 1970.
70. C r u c e r u, C. **Procedee de localizare a defectelor în rețelele de cabluri de energie.** București, Editura tehnică, 1976.
71. M. E. E. **Fișă tehnologică, încercări, verificări și măsurători executate la cabluri : condiții de calitate, lucrări preventive, metode de determinare a locului de defect.** București, O.D.E., 1972.
72. S T A S 6390-69. **Suporturi izolante pentru instalații electrice. Condiții generale.**
73. M. E. E. **Normativ pentru construcția instalațiilor electrice de conexiuni și transformare cu tensiuni peste 1 kV.** București, ICEMENERG, 1977.
74. S T A S 8275-78. **Protecția împotriva electrocutărilor. Terminologie.**
75. S T A S 2612-72. **Protecția împotriva electrocutărilor. Limite admisibile.**
76. S T A S 7334-78. **Instalații electrice de înaltă tensiune. Instalații de legare la pămînt de protecție. Prescripții.**
77. M. E. E. **Instrucțiuni pentru proiectarea și execuția instalațiilor de legare la pămînt, PE-121/76,** București, ICEMENERG, 1977.
78. S u f r i m, M. ș.a. **Construcția și exploatarea instalațiilor de legare la pămînt.** București, Editura tehnică, 1970.
79. M. E. E. **Instrucțiuni privind verificarea instalațiilor de legare la pămînt.** București, ICEMENERG, 1979.
80. S T A S 445-75. **Acumulatoare acide cu plumb cu plăci pozitive de mare suprafață.**
81. M. E. E. **Fișă tehnologică FS-7, montarea și întreținerea bateriilor de acumulatoare.** București, ICEMENERG, 1978.
82. M. E. E. **Fișă tehnologică, revizia redresoarelor cu seleniu.** București, O.D.E., 1971.
83. **Acumulatorul. Instrucțiuni generale privind montajul, punerea în funcțiune, exploatarea și întreținerea bateriilor de acumulatoare staționare,** 1967.
84. C ă n e s c u, T. ș.a. **Aparate electrice de joasă tensiune.** București, Editura tehnică, 1977.

85. Manolescu, P. ș.a. **Măsuri electrice și electronice.** București, Editura didactică și pedagogică, 1980.
86. Babikov, M. **Aparate electrice,** traducere din lb. rusă. București, Editura tehnică, 1965.
87. STAS 4479-74. **Contactoare și ruptoare de joasă tensiune. Condiții tehnice speciale de calitate.**
88. STAS 4480-76. **Întreruptoare automate de joasă tensiune pentru uz general.**
89. M. E. E. **Normativ tehnic de reparații la echipamente și instalații energetice.** București, ICEMENERG, 1977.
90. Ionescu, A. A., Tomescu, I. **Verificarea releelor de protecție și automatizare din stații și posturi de transformare.** București, Editura tehnică, 1983.

Cuprins

1. **Întreruptoare de medie şi înaltă tensiune. Caracteristici, verificări** 3
   1.1. Generalităţi, caracteristici 3
   1.2. Dispozitive de acţionare a întreruptoarelor 6
   1.3. Verificarea întreruptoarelor 14

2. **Separatoare. Caracteristici, verificări** 31
   2.1. Generalităţi, caracteristici 31
   2.2. Dispozitive de acţionare a separatoarelor 31
   2.3. Verificarea separatoarelor 35

3. **Transformatoare, autotransformatoare şi bobine de stingere. Caracteristici, verificări** 39
   3.1. Transformatoare şi autotransformatoare generalităţi . . . 39
   3.2. Bobine de stingere, generalităţi 46
   3.3. Verificarea transformatoarelor şi autotransformatoarelor . 46
   3.4. Verificarea bobinelor de stingere 92

4. **Transformatoare de curent. Caracteristici, verificări** 95
   4.1. Generalităţi, caracteristici 95
   4.2. Verificarea transformatoarelor de curent 100

5. **Transformatoare de tensiune. Caracteristici, verificări** 117
   5.1. Generalităţi, caracteristici 117
   5.2. Verificarea transformatoarelor de tensiune 120

6. **Motoare electrice de curent alternativ. Caracteristici, verificări** 137
   6.1. Generalităţi, caracteristici 137
   6.2. Verificarea motoarelor electrice de curent alternativ . . . 139

7. **Cabluri, caracteristici, verificări** 151
   7.1. Generalităţi 151
   7.2. Verificarea cablurilor 153

8. **Bobine de reactanţă. Caracteristici, verificări** 163
   8.1. Generalităţi, caracteristici 163
   8.2. Verificarea bobinelor de reactanţă 164

9. **Bare colectoare. Caracteristici, verificări** 166
9.1. Generalităţi 166
9.2. Verificarea barelor colectoare 166

10. **Instalaţii de legare la pămînt. Caracteristici, verificări** . . . 179
10.1. Generalităţi, caracteristici 179
10.2. Verificarea instalaţiilor de legare la pămînt 183

11. **Baterii de acumulatoare cu plăci de plumb. Caracteristici, verificări** 205
11.1. Generalităţi, caracteristici 205
11.2. Formarea bateriilor de acumulatoare cu plumb utilizate în centrale, staţii şi posturi de transformare. 206
11.3. Verificarea bateriilor de acumulatoare 207

12. **Verificarea şi întreţinerea redresoarelor utilizate la alimentarea serviciilor proprii de curent continuu din staţii electrice şi posturi de transformare** 213

13. **Verificarea aparatelor de conectare şi protecţie de curent continuu şi alternativ utilizate în instalaţiile de joasă tensiune ale staţiilor electrice şi posturilor de transformare** 215
13.1. Măsurarea rezistenţei de izolaţie 216
13.2. Încercarea izolaţiei cu tensiune alternativă mărită . . . 217
13.3. Măsurarea tensiunii minime de acţionare 217
13.4. Verificarea funcţionării elementelor termice şi electromagnetice ale contactoarelor şi întreruptoarelor automate . 218
13.5. Măsurarea rezistenţei de contact 227

14. **Măsuri de protecţia muncii la probele şi încercările care se execută asupra aparatelor primare de înaltă tensiune** 228
14.1. Măsuri de protecţia muncii la măsurarea rezistenţei de izolaţie 228
14.2. Măsuri de protecţia muncii la determinarea raportului de transformare şi a grupei de conexiuni a transformatoarelor de putere 229
14.3. Măsuri de protecţia muncii la măsurarea rezistenţelor ohmice 229
14.4. Măsuri de protecţia muncii la aplicarea unor curenţi de lucru în primarul transformatoarelor de curent 230
14.5. Măsuri de protecţia muncii la aplicarea unor tensiuni în secundarul transformatoarelor de tensiune inductive . . . 230
14.6. Măsuri de protecţia muncii la verificarea dispozitivelor de acţionare a întreruptoarelor şi separatoarelor 230
14.7. Măsuri de protecţia muncii la încercările cu tensiune mărită 231

Bibliografie 233

Va apărea :

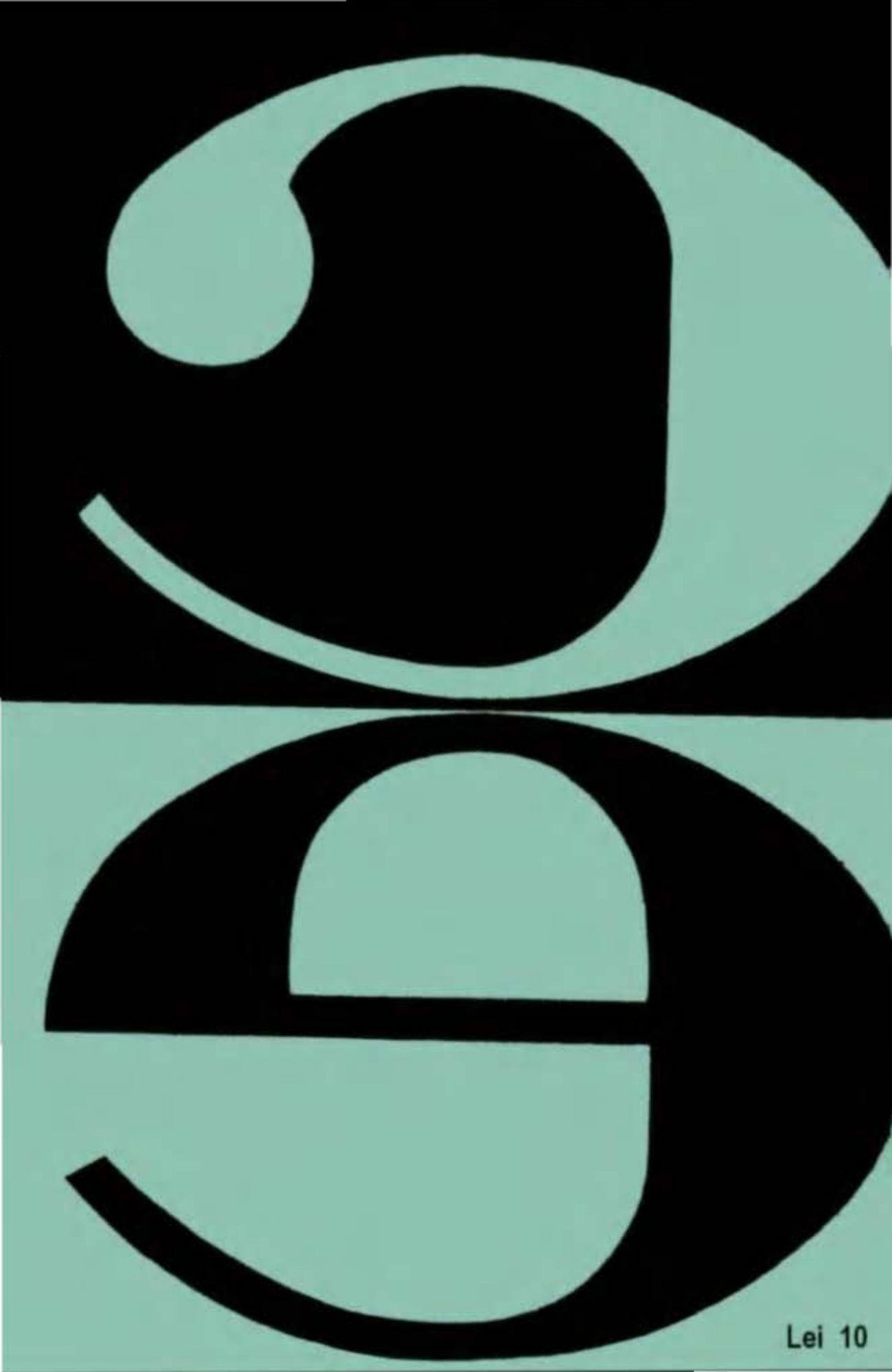
PANTEA, AL.

PROBE ŞI VERIFICĂRI ALE TRANSFORMATOARELOR DE MARE PUTERE

Colecţia „Electricianului", vol. 98

(M, 10 coli ed., broşat, 11 lei)

Lucrarea, cu un conţinut adecvat nevoilor practice de exploatare a transformatoarelor de mare putere, este un îndrumar pentru personalul care execută probe şi verificări ale transformatoarelor în cadrul întreprinderilor din M.E.E. şi alte întreprinderi industriale.


Lei 10